

3100000011383

**TUGAS AKHIR**  
**OE.1701**



**ANALISA KEANDALAN STRUKTUR GUYED TOWER  
 TERHADAP BEBAN SIKLIS**



RSke  
 627.98  
 Fau  
 a-1  
 1998

Disusun Oleh :

**AHMAD FAUZI**  
 NRP. 4392.100.035

6-4-99  
 #  
 8504

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**1998**

**ANALISA KEANDALAN STRUKTUR GUYED TOWER  
TERHADAP BEBAN SIKLIS**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kelautan  
Pada**

**Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Surabaya, Maret 1998  
Mengetahui / Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Ir. Eko B. Djatmiko, MSc. PhD.**

**Nip. 131 407 592**

  
**Ir. Daniel M. Rosyid, PhD.**

**Nip. 131 782 038**



*To*

*My parent, my brothers & sisters and my sweetheart*







## ABSTRAK

Dalam tugas akhir ini akan dibahas mengenai keandalan struktur guyed tower pada kedalaman perairan 1500 feet (sekitar 457m) terhadap beban siklis. Sebagai analisis awal, beban siklis yang diperhitungkan hanya beban gelombang. Secara umum, keseluruhan analisis akan dibagi menjadi tiga tahap yaitu analisis perilaku struktur guyed tower untuk mengidentifikasi bagian struktur yang rentan terhadap kelelahan, kemudian analisis dilanjutkan untuk memprediksi umur kelelahannya dan terakhir analisa keandalan struktur guyed tower terhadap beban siklis.

Analisis yang pertama terutama ditujukan untuk mengidentifikasi bagian struktur yang rentan terhadap kelelahan. Hal ini dilakukan semata-mata agar analisis menjadi lebih singkat dan ekonomis. Sebuah fasilitas program untuk analisis struktur dalam hal ini adalah SAP90 telah digunakan dalam analisis ini. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa bagian yang rentan terhadap kelelahan adalah pada bagian tengah struktur. Perolehan ini juga telah dibandingkan dengan berbagai literatur untuk memperoleh validasinya.

Analisis kelelahan dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode deterministik dan semi-probabilistik. Dalam menyelesaikan permasalahan dengan metode deterministik, dua pendekatan telah dipakai, yaitu pendekatan spektral penuh (*full spectral analysis*) dan pendekatan sederhana (*simplified approach*). Hasil analisis menunjukkan bahwa umur kelelahan struktur guyed tower sangat sensitif terhadap perubahan parameter bentuk dari distribusi Weibull rentang tegangannya ( $\xi$ ) yang terjadi selama operasi. Selanjutnya dengan variasi  $\xi$ , umur kelelahan bisa diprediksikan sebagai fungsi dari tegangan ekstrem.

Analisis probabilistik terutama bertujuan untuk mendapatkan indeks keandalan sekaligus peluang kegagalan struktur selama kurun waktu operasinya. Hasil komputasi selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik indeks keandalan dan peluang kegagalan sebagai fungsi periode umur operasi untuk berbagai harga tegangan ekstrem. Berdasarkan perolehan ini, analisis kemudian dilanjutkan untuk mengevaluasi karakteristik keandalan struktur, dengan mengambil beberapa sumber yang dianggap cukup valid untuk dijadikan sebagai acuan dalam menentukan target indeks keandalan. Dengan target indeks keandalan ini, selanjutnya dapat diprediksikan sampai berapa lama struktur akan memenuhi target yang dimaksud. Dari dua acuan yang diambil, menyarankan agar struktur guyed tower dirancang dengan target indeks keandalan  $\beta=3,0$ . Untuk harga tegangan ekstrem sebesar  $280 \text{ N/mm}^2$  yang diperoleh secara deterministik untuk umur rancang 20 tahun, maka target diatas hanya akan dapat dipertahankan sampai dengan 17,5 tahun.



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah *swt.* yang tak henti-hentinya melimpahkan rahmat dan kasih-Nya kepada seluruh hamba-Nya tanpa terkecuali. Juga shalawat dan salam mudah-mudahan akan selalu tercurah kepada rasulullah Muhammad saw. yang telah mengentaskan umatnya dari kegelapan menuju alam yang terang-benderang.

Atas kehendak-Nya juga, setelah melalui perjalanan yang melelahkan, rampung sudah tugas akhir dengan judul: *Analisa Keandalan Struktur Guyed Tower terhadap Beban Siklis* yang dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata-1 (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan ITS.

Struktur *guyed tower* terpilih sebagai objek penelitian, karena struktur ini termasuk teknologi yang relatif baru, yang dikembangkan khusus untuk laut dalam. Hal ini penting untuk memperluas cakrawala ilmu pengetahuan kita tentang struktur bangunan laut sebagai sarana eksplorasi dan eksploitasi hidrokarbon di laut.

Keselamatan baik operator maupun lingkungan, akhir-akhir ini menjadi faktor penting yang mendapatkan porsi khusus dalam proses perancangan bangunan lepas pantai. Sehubungan dengan itu, tidak berlebihan kiranya apabila salah satu kriteria kekuatan struktur yaitu kelelahan, diambil sebagai topik bahasan dalam tugas akhir ini. Untuk lebih memantapkan jaminan akan keselamatan ini, maka kriteria kekuatan tadi harus bisa dikuantifikasi secara lebih eksplisit. Untuk tujuan ini, konsep keandalan dan resiko (*reliability and risk*

*concept*) juga menjadi topik bahasan yang tak kalah menarik dalam tugas akhir ini.

Secara garis besar, tugas akhir ini dibagi menjadi 4 bagian yaitu 1). bagian pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, tujuan dan manfaat penulisan serta perumusan masalah, beberapa asumsi dan batasan masalah, 2). dasar teori dan tinjauan pustaka yang meliputi beberapa hal yaitu tentang karakteristik gelombang laut, struktur *guyed tower*, metode analisis kelelahan dan analisis probabilistik kelelahan, 3) analisa dan diskusi, yang memuat hasil perhitungan dan beberapa hal yang menarik untuk didiskusikan, dan terakhir 4). penutup yang memuat kesimpulan dari hasil analisis dan beberapa saran untuk meningkatkan akurasi hasil analisis topik serupa di masa yang akan datang.

*Tak ada gading yang tak retak*, demikian bunyi sebuah pepatah. Begitu juga dengan tugas akhir ini yang masih banyak kekurangannya dikarenakan banyaknya batasan dan asumsi yang digunakan sehingga hasil yang diperoleh mungkin masih jauh dari yang diharapkan. Saran dan kritik membangun dari pembaca, khususnya akademisi di lingkungan Teknik Kelautan ITS sangat diharapkan.

Akhirnya, semoga tulisan ini bermanfaat.

Ahmad Fauzi



## UCAPAN TERIMA KASIH

Selesainya tugas akhir ini juga tidak luput dari kontribusi beberapa pihak. Untuk itu terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada mereka yang secara langsung atau tak langsung, sengaja atau tidak, senang atau tidak senang telah berperan dalam penyelesaian tugas akhir ini, mudah-mudahan Allah swt akan membalasnya.

Secara khusus, ucapan terima kasih ini juga ditujukan bagi mereka yang secara langsung terkait dengan tugas akhir ini yaitu:

1. Bapak (alm) dan Ibu tercinta atas kasih dan doanya yang tak mungkin terbalas. Juga kakak-kakak tercinta atas semua dukungan moral maupun fisik yang telah diberikan selama ini.
2. Bapak Dr. Ir. W. A. Pratikto, MSc. selaku dosen wali, atas keikhlasannya memberikan nasehat selama penulis menempuh studi di Jurusan Teknik Kelautan ITS.
3. Bapak Ir. Eko Budi Djatmiko, MSc, PhD. selaku dosen pembimbing pertama, atas bimbingan dan arahannya sejak dari proses penggalan ide sampai selesainya tugas akhir ini. Selain itu ucapan terima kasih ini juga disampaikan dalam kapasitas beliau sebagai Ketua Jurusan Teknik Kelautan.
4. Bapak Ir. Daniel M. Rosyid, PhD. selaku dosen pembimbing kedua, atas bimbingan dan nasehat yang diberikan selama ini.
5. Bapak Dr. Ir. Paulus Indiyono, MSc. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan.

6. Seluruh dosen Jurusan Teknik Kelautan dan karyawan di lingkungan Fakultas Teknologi Kelautan tanpa terkecuali atas segala bantuannya.
7. Mas Hadi Sufijan, atas kesediaannya meluangkan waktu untuk diskusi.
8. Penghuni lantai papat FTK, khususnya Mas Aries *kepis*, Eddy, Iwan, Wiwid *gering*, Budi *onthong*, Vera, Budi Asih, Daya dan pasangannya (*Rini ta daya*), Pak Rony, Ayik *wedhus*, dan Giman atas keikhlasannya berbagi rasa.
9. Teman-teman Laut'92, khususnya Zaini, Ivan, Erlan, Dwik, Hasbi, *Mbak Yuni*, Jo *kribo*, Badrut, dan Arifin *india*. Tak lupa juga untuk adik-adik Laut'93, '94, '95 dan '96.
10. Penghuni Asempayung 15 dan *Hard Rock Café* Gebang Putih tanpa terkecuali.



## **DAFTAR ISI**

**LEMBAR JUDUL**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ABSTRAK**

**KATA PENGANTAR**

**UCAPAN TERIMA KASIH**

**DAFTAR ISI**

**DAFTAR GAMBAR**

**DAFTAR TABEL**

### **BAB I. PENDAHULUAN**

1. 1. Latar Belakang	1-1
1. 2. Perumusan Masalah	1-5
1. 3. Tujuan dan Manfaat Penulisan	1-6
1. 4. Batasan Masalah dan Asumsi	1-7
1. 5. Metodologi Penulisan	1-7

### **BAB II. KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT**

2. 1. Teori Gelombang sebagai Sebuah Pendekatan Deterministik terhadap Gelombang Laut	2-2
2. 1. 1. Region of Validity	2-3
2. 1. 2. Teori Gelombang Airy	2-5
2. 2. Formulasi Gaya Gelombang	2-6
2. 2. 1. Persamaan Morison	2-7
2. 2. 2. Gaya Gelombang pada Silinder Miring	2-8
2. 3. Pendekatan Probabilistik Gelombang Laut	2-10

### **BAB III. STRUKTUR GUYED TOWER**

3. 1. Gambaran Umum Struktur Guyed Tower	3-1
3. 1. 1. Struktur Utama Guyed Tower	3-3
3. 1. 2. Sistem Tali Penambat (Guying System)	3-3
3. 1. 3. Clump weight, Spud can dan Jangkar	3-4
3. 2. Analisa Perilaku Struktur Guyed Tower	3-6
3. 2. 1. Analisa Dinamis Struktur Guyed Tower	3-7
3. 2. 1. 1. Massa Efektif Struktur	3-7
3. 2. 1. 2. Kekakuan Struktur	3-8
3. 2. 1. 3. Pemodelan Struktur	3-10
3. 2. 1. 4. Getaran Bebas (Free Vibration) dari Struktur	3-11
3. 2. 2. Karakteristik Perilaku Struktur Guyed Tower	3-15
3. 3. Analisa Tegangan	3-17

### **BAB IV. ANALISA KELELAHAN STRUKTUR GUYED TOWER**

4. 1. Analisa Spektral Penuh (Full Spectral Analysis)	4-2
4. 2. Analisis dengan Pendekatan Sederhana (Simplified Approach)	4-9

### **BAB V. KEANDALAN STRUKTUR GUYED TOWER TERHADAP KELELAHAN**

5. 1. Margin Keselamatan	5-2
5. 2. Analisis Keandalan dengan Metode AFOSM	5-5
5. 3. Formulasi Ambang Keselamatan oleh Kelelahan	5-7

### **BAB VI. ANALISA DAN DISKUSI**

6. 1. Identifikasi Bagian Struktur yang Rentan terhadap Kelelahan	6-1
6. 2. Perilaku Kelelahan Struktur Guyed Tower	6-3
6. 2. 1. Perhitungan Umur Kelelahan	6-3
6. 2. 2. Tegangan Ekstrem Ijin	6-6
6. 2. 3. Evaluasi Sensitivitas	6-6
6. 3. Keandalan Struktur Guyed Tower terhadap Kelelahan	6-8



## **BAB VII. PENUTUP**

7. 1. Kesimpulan	7-1
7. 2. Saran	7-3

## **DAFTAR PUSTAKA**

<b>LAMPIRAN A</b>	<b>: ANALISA STRUKTUR DENGAN PROGRAM SAP90</b>
<b>LAMPIRAN B</b>	<b>: PERHITUNGAN UMUR KELELAHAN STRUKTUR</b>
<b>LAMPIRAN C</b>	<b>: PARAMETER STRUKTUR DAN DATA LINGKUNGAN</b>
<b>LAMPIRAN D</b>	<b>: LISTING PROGRAM ANALISIS KEANDALAN</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pendekatan alternatif untuk menggambarkan gelombang laut.	2-3
Gambar 2.2. Region of Validity.	2-4
Gambar 2.3. Sket kedudukan silinder miring.	2-8
Gambar 3.1. Guyed tower.	3-2
Gambar 3.2. Beberapa komponen struktur guyed tower.	3-5
Gambar 3.3. Massa terpusat (lumped mass).	3-8
Gambar 3.4. Batang dua dimensi.	3-9
Gambar 3.5. Pemodelan struktur guyed tower.	3-10
Gambar 3.6. Sistem dengan dua derajat kebebasan.	3-12
Gambar 3.7. Mode shape untuk sistem dengan 2 derajat kebebasan.	3-14
Gambar 4.1. Kurva S-N untuk tipe sambungan tubular.	4-3
Gambar 4.2. Skenario kotak pengoperasian dan prosedur penurunan distribusi tegangan dengan analisis spektrum kurun waktu panjang.	4-6
Gambar 4.3. Skema prediksi deterministik kelelahan struktur.	4-9
Gambar 5.1. Diagram interferensi dengan kedua pdf yang terpisah.	5-3
Gambar 5.2. Diagram interferensi dengan interferensi cukup berarti.	5-4
Gambar 5.3. Interpretasi geometri indeks keandalan $\beta$ .	5-6
Gambar 5.4. Indeks keandalan untuk fungsi kinerja non-linier.	5-6
Gambar 6.1. Umur kelelahan struktur guyed tower sebagai fungsi amplitudo tegangan ekstrem.	6-4
Gambar 6.2. Pengaruh perubahan parameter bentuk $\xi$ terhadap umur kelelahan struktur guyed tower sebagai fungsi tegangan ekstrem.	6-8
Gambar 6.3. Penurunan indeks keandalan sebagai fungsi pertambahan periode operasi untuk sejumlah harga rentang tegangan ekstrem pada struktur guyed tower.	6-9
Gambar 6.4. Kenaikan peluang kegagalan sebagai fungsi pertambahan periode operasi untuk sejumlah harga rentang tegangan ekstrem pada struktur guyed tower.	6-10



## DAFTAR TABEL

Tabel 6.1. Hasil perhitungan umur kelelahan kumulatif dengan menggunakan hukum Miner.	6-5
Tabel 6.2. Pengaruh perubahan harga $\xi$ terhadap umur kelelahan struktur guyed tower.	6-7
Tabel 6.3. Data statistik penentu untuk analisis keandalan.	6-9
Tabel 6.4. Kriteria perancangan kelelahan untuk TLP.	6-11

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1. 1. LATAR BELAKANG**

Eksplorasi terhadap cadangan energi tidak lagi terbatas di darat tetapi mulai merambah ke lepas pantai -bahkan sampai pada laut dalam- yang kondisi lingkungannya sangat berbeda jauh dengan di daratan dan bahkan kadang sulit diprediksikan, artinya fasilitas yang dibangun di lepas pantai akan membutuhkan dasar perancangan yang memadai dengan melibatkan beberapa disiplin ilmu diantaranya meteorologi, statistik, oceanografi, perkapalan, geologi, ilmu bahan, mekanika tanah, mekanika fluida dan ilmu tentang struktur bangunan lepas pantai.

Menyadari akan hal ini, beberapa industri yang terkait termotivasi untuk membangun dan mengembangkan teknologi dan rekayasa struktur bangunan lepas pantai. Sejak tahun 1887 sudah ada sekitar 10.000 bangunan lepas pantai, 2000 diantaranya merupakan struktur baja. Kemudian pada akhir tahun 1940-an sekitar 20 *gravity platform* mulai dibangun bersamaan dengan instalasi struktur baja di teluk Mexico pada kedalaman 20-50 feet (sekitar 6-15 meter) [Wilson (1984)].

Teknologi bangunan lepas pantai terus berkembang untuk mengantisipasi kedalaman perairan dan kondisi lingkungan yang kemudian nantinya akan melahirkan bentuk struktur baru yang disesuaikan dengan fungsinya dan kondisi lingkungan tempat dimana struktur tersebut akan dipasang. Hal ini sangat logis

karena cadangan hidrokarbon yang dicari tidak hanya terdapat di laut dangkal, tetapi bahkan menurut Koonce (1976), sejak tahun 1965 sudah ada sekitar 75 sumur minyak yang telah dieksploitasi pada kedalaman lebih dari 600 feet (sekitar 180 m), dan 35 sumur pada kedalaman lebih dari 1000 feet (300 m).

Perkembangan teknologi bangunan lepas pantai -seperti yang telah dijelaskan diatas- selanjutnya akan melahirkan bermacam-macam bentuk struktur sesuai dengan fungsi dan kondisi lingkungan tempat struktur tersebut terpasang. Sehubungan dengan hal ini, secara umum ada dua macam tipe struktur yaitu struktur terpancang (*fixed platform*) dan struktur terapung (*floating platform*). Menurut Chakrabarti (1987), struktur tipe terpancang secara ekonomis masih bisa digunakan untuk laut dengan kedalaman 1000-1600 feet (300-487m), sedangkan untuk kedalaman yang lebih dari itu, penggunaan struktur terpancang sudah tidak lagi efektif baik dari segi teknis maupun ekonomis. Sebagai gantinya, untuk perairan dalam digunakan struktur tipe terapung.

Ada beberapa jenis struktur yang bisa digolongkan ke dalam struktur tipe terpancang diantaranya adalah *jacket*, *jack up*, *concrete gravity*, *guyed tower* dan lain-lain. Sedangkan yang termasuk ke dalam golongan struktur tipe terapung diantaranya adalah *semisubmersible*, *drill ship*, *Tension Leg Platform* dan lain-lain.

Beberapa jenis struktur yang telah disebutkan diatas relatif sudah dikenal di kalangan akademisi khususnya yang berkecimpung dalam rekayasa bangunan lepas pantai (*Offshore engineering*) seperti teknik kelautan, bahkan sudah banyak yang dijadikan bahan tugas akhir mahasiswa. Tetapi sebagian lainnya masih relatif asing, atau paling tidak yang menjadikannya sebagai topik penelitian



ilmiah masih jarang dijumpai. Hal ini mungkin disebabkan oleh dua hal, *pertama* karena struktur yang bersangkutan adalah termasuk teknologi yang relatif baru sehingga sumber yang bisa dijadikan acuan untuk analisis belum banyak dijumpai atau karena *kedua*, struktur tersebut hanya ekonomis untuk perairan dalam sehingga untuk diterapkan di perairan Indonesia yang relatif dangkal menjadi tidak efektif dan kurang ekonomis.

Salah satu jenis struktur yang termasuk dalam golongan terakhir ini adalah struktur *guyed tower*. Finn L. D. dari *Exxon Production Research Co.*, mulai memperkenalkan jenis struktur ini sebagai teknologi baru dalam rekayasa bangunan lepas pantai khususnya untuk laut dalam (*deep water*) pada tahun 1976 dan merupakan paper ilmiah pertama yang kemudian banyak dijadikan sebagai acuan (*reference*) untuk paper-paper berikutnya tentang *guyed tower*. Sebagai salah satu elemen yang berkompeten dalam *offshore engineering*, maka tidak ada salahnya –meskipun secara teknis tidak bisa diterapkan di Indonesia- analisa tentang struktur ini dijadikan sebagai topik yang menarik untuk tugas akhir dengan tujuan untuk memperkaya khazanah ilmu pengetahuan tentang perkembangan teknologi bangunan lepas pantai khususnya untuk laut dalam.

Sebagai salah satu jenis struktur yang terpasang di laut dalam, maka struktur *guyed tower* harus dirancang sangat teliti dengan prosedur dan kriteria perancangan yang memenuhi persyaratan kode (*rule*) yang telah ditentukan terutama berkaitan dengan faktor keselamatan baik personal maupun lingkungan. Sehubungan dengan hal itu maka kekuatan struktur menjadi faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam tahap perancangan. Secara umum ada dua hal yang berhubungan dengan kekuatan struktur tersebut. *Pertama*, kekuatan struktur

untuk menerima dan menahan beban ekstrim (*extreme loading*) yang biasanya diasumsikan terjadi hanya satu kali dalam suatu periode tertentu, misalnya 50 tahunan atau 100 tahunan yang mungkin akan terjadi selama kurun waktu operasi (*design life*) dari struktur tersebut. **Kedua**, kekuatan struktur untuk menerima dan menahan beban siklis (*cyclic loading*) yang terjadi terus-menerus selama kurun waktu operasi struktur.

Kedua hal tersebut diatas akan menjadi kriteria yang sangat penting pada saat akan menentukan kelaikan struktur untuk beroperasi selama kurun waktu operasi yang direncanakan (*design life*), terutama kekuatan struktur tersebut untuk menahan beban siklis. Hal ini logis karena secara alami beban eksternal yang didominasi oleh gelombang adalah bersifat siklis. Meskipun secara kualitas beban ini relatif kecil bila dibandingkan dengan kekuatan ultimat struktur, tetapi secara kuantitas beban ini terjadi terus-menerus yang secara gradual akan menurunkan kekuatan struktur dan akhirnya akan menyebabkan kegagalan struktur pada perulangan beban (*cycle*) tertentu.

Untuk merepresentasikan keamanan struktur dari dua kriteria kekuatan diatas biasanya perancang menggunakan suatu angka ketidakpastian dalam merancang kekuatan struktur untuk menerima beban rencana (*design load*). Konsep perancangan seperti ini lebih kita kenal dengan konsep angka keamanan. Dalam konsep ini perancang membuat kekuatan struktur menjadi lebih besar dibandingkan dengan beban yang diterima sebesar angka keamanan tadi. Memang pada kenyataannya struktur kemudian menjadi kuat dan bisa menahan beban yang bekerja. Tetapi masalah yang timbul kemudian adalah perancangan struktur menjadi konservatif, artinya angka keamanan yang diterapkan terkadang terlalu



besar dari perkiraan (*overestimate*) sehingga struktur terkesan terlalu “kuat”. Implikasinya, biaya pembuatan struktur menjadi mahal sehingga meskipun secara teknis struktur tersebut sangat memenuhi syarat tetapi tidak bisa dikatakan ekonomis.

Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka dalam beberapa dekade terakhir ini telah diajukan pendekatan probabilistik dalam merepresentasikan kekuatan struktur. Pendekatan seperti ini lebih dikenal dengan konsep keandalan dan resiko (*reliability and risk*). Melalui pendekatan ini, resiko (peluang kegagalan) sebagai ukuran ketidakpastian dapat secara eksplisit dikuantifikasikan, begitu juga dengan tingkat keselamatannya. Berbeda dengan konsep angka keamanan yang telah diterangkan sebelumnya, maka dalam konsep ini tingkat keselamatan dapat secara lebih rasional ditentukan yang biasanya dinyatakan dengan keandalan sistem, yaitu peluang keberhasilan sebuah sistem untuk melakukan tugas tertentu dalam lingkungan tertentu selama periode waktu tertentu.

## 1. 2. PERUMUSAN MASALAH.

Mencermati kembali latar belakang permasalahan diatas, secara umum ada tiga permasalahan penting yang nantinya akan dibahas dalam tugas akhir ini. *Pertama*, karena struktur *guyed tower* ini termasuk teknologi yang relatif baru ada baiknya dikemukakan pengenalan tentang struktur secara umum berikut analisa perilakunya dalam menerima beban gelombang. *Kedua*, mengingat terbatasnya artikel ilmiah tentang analisa kelelahan struktur *guyed tower* yang sangat diperlukan sebagai masukan bagi perancang, maka perlulah analisa ini dilakukan



untuk menjelaskan aspek tersebut. *Ketiga*, analisa keandalan struktur guyed tower terhadap beban siklis juga harus dilakukan untuk memperkirakan peluang kegagalan struktur akibat kelelahan dalam setiap kurun waktu tertentu dari pengoperasiannya.

### 1. 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENULISAN.

Mengacu pada permasalahan yang ada, penulisan tugas akhir ini mempunyai beberapa tujuan yang ingin dicapai yaitu:

1. Memperkenalkan struktur *guyed tower* secara umum berikut analisa untuk mengetahui perilakunya terhadap beban gelombang.
2. Mendapatkan beberapa karakteristik kelelahan struktur *guyed tower* yaitu umur kelelahan dan tegangan ijin maksimum.
3. Mendapatkan informasi tentang peluang kegagalan akibat kelelahan dengan menggunakan konsep analisa keandalan dan resiko.

Adapun manfaat yang mungkin bisa langsung dirasakan adalah bertambahnya khazanah ilmu pengetahuan tentang teknologi bangunan lepas pantai khususnya untuk laut dalam (*deep water*), sehingga memudahkan bagi peneliti selanjutnya untuk mendalami dan mengembangkan hal serupa. Sedangkan untuk kalangan praktisi yang meliputi perancang, *owner*, fabrikator dan badan inspeksi mungkin secara langsung tulisan ini tidak akan memberikan kontribusi yang berarti, kecuali dengan analisa yang lebih lengkap dan mendalam.

#### 1. 4. BATASAN MASALAH DAN ASUMSI.

Untuk membatasi dan menyederhanakan analisa supaya tidak begitu meluas dan rumit, maka perlulah adanya batasan masalah dan beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Guyed tower dimodelkan sebagai garis tunggal, struktur dua dimensi dengan satu derajat kebebasan.
2. Beban siklis yang diperhitungkan hanya beban gelombang.
3. Analisa dan perilaku kabel pengikat (*guylines*) tidak termasuk dalam analisa tugas akhir ini dan dalam perhitungan diidealisasikan sebagai pegas (*spring*).
4. Semua tumpuan dianggap jepit.
5. Kecepatan dan percepatan partikel air dihitung dengan teori gelombang Linier.
6. Formulasi gaya gelombang dihitung dengan persamaan Morison.

#### 1. 5. METODOLOGI PENULISAN.

Penulisan tugas akhir ini diawali dengan analisa perilaku struktur *guyed tower* yang dikenai beban gelombang reguler dengan menggunakan teori-teori yang telah ditentukan. Dari analisa tersebut diperoleh informasi tentang bagian struktur yang rentan terhadap kelelahan, untuk kemudian pada bagian tersebut dianalisa kelelahannya.

Analisa kelelahan dilakukan dengan menggunakan metode spektral penuh pada lokasi yang ditinjau. Dari analisa ini selanjutnya diperoleh informasi tentang

umur kelelahan lokasi yang ditinjau tersebut dan diasumsikan mewakili umur kelelahan struktur secara keseluruhan. Selain umur kelelahan, karakteristik kelelahan struktur yang lain seperti tegangan ekstrim ijin juga bisa diperoleh.

Tujuan terakhir dari penulisan tugas akhir ini adalah mendapatkan karakteristik keandalan struktur. Dengan memperhitungkan beberapa variabel penentu yang bersifat acak, maka dengan formulasi dari metode yang telah ditentukan, maka indeks keandalan struktur bisa diperoleh. Setelah indeks keandalan struktur diperoleh, maka peluang kegagalan struktur juga kemudian bisa ditentukan. Kedua karakteristik keandalan diatas kemudian dianalisa hubungannya dengan umur operasi struktur.

Pada bagian akhir penulisan tugas akhir ini, dikemukakan beberapa kesimpulan dari analisa diatas, baik aspek kelelahan maupun aspek keandalannya. Tidak ketinggalan akan diusulkan juga beberapa saran demi kesempurnaan penulisan khususnya dalam topik yang bersangkutan untuk masa-masa yang akan datang.





## **BAB II**

### **KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT**

Dalam analisa struktur bangunan lepas pantai, ada banyak aspek yang harus diperhitungkan untuk memperoleh hasil yang memuaskan, dalam hal ini berupa respon dan perilaku struktur pada lingkungan tempat struktur tersebut terpasang. Kondisi yang dimaksud berkaitan dengan beban lingkungan yang meliputi beban angin, beban gelombang, beban arus dan beban gempa sebagai beban eksternal yang bekerja pada struktur, tentunya selain beban internal yang berasal dari struktur itu sendiri.

Diantara beberapa beban lingkungan yang telah disebutkan diatas, beban gelombang adalah yang paling dominan bekerja pada struktur bangunan lepas pantai, sedangkan beban yang lain relatif kecil bila dibandingkan dengan beban gelombang. Hal ini didukung oleh Dawson (1983) yang mencontohkan bahwa beban arus hanya memberikan kontribusi sebesar 10% dari beban gelombang terhadap beban horizontal yang bekerja pada struktur. Dengan kenyataan ini, analisa struktur bangunan lepas pantai pada umumnya hanya memperhitungkan beban gelombang sebagai beban eksternal. Tentu saja hasil analisa yang diperoleh tidak akan sama dengan kenyataan, tetapi paling tidak hal itu sudah dianggap merepresentasikan sebuah analisa struktur yang memadai. Akan tetapi untuk kepentingan praktis di lapangan, sebuah analisa struktur harus melibatkan semua beban eksternal yang mungkin bekerja selama kurun waktu operasi struktur yang direncanakan.

Sebelum beranjak ke analisa struktur berikutnya, maka ada baiknya dipelajari terlebih dahulu tentang karakteristik gelombang laut sebagai salah satu beban eksternal yang bekerja pada struktur. Deskripsi berikut ini barangkali akan cukup memberikan penjelasan tentang hal tersebut.

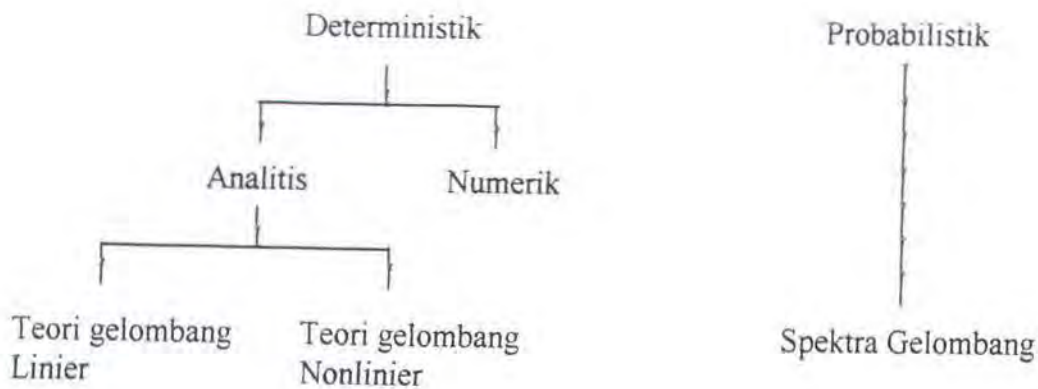
## **2. 1. TEORI GELOMBANG SEBAGAI SEBUAH PENDEKATAN DETERMINISTIK TERHADAP GELOMBANG LAUT.**

Untuk menggambarkan karakteristik gelombang laut ada dua pendekatan yang berbeda secara mendasar. *Pertama*, pendekatan deterministik yang biasanya banyak digunakan untuk menggambarkan gelombang skala waktu pendek. Dengan menggunakan pendekatan ini kondisi laut dapat diwakili oleh beberapa gelombang tunggal masing-masing dengan tinggi dan periode gelombang tertentu. Dalam pendekatan ini ada dua metode yang digunakan yaitu analitik dan numerik. Secara analitik profil gelombang dijelaskan dengan menerapkan teori gelombang baik linier maupun nonlinier.

*Kedua*, pendekatan probabilistik yang biasanya banyak digunakan untuk menggambarkan profil gelombang skala waktu panjang. Dengan pendekatan ini kondisi laut digambarkan dengan menggunakan parameter spektra gelombang yang akan dijelaskan kemudian pada bagian lain dari tulisan ini.

Secara diagramatis, Wilson (1984) menggambarkan kedua pendekatan diatas sebagai berikut:





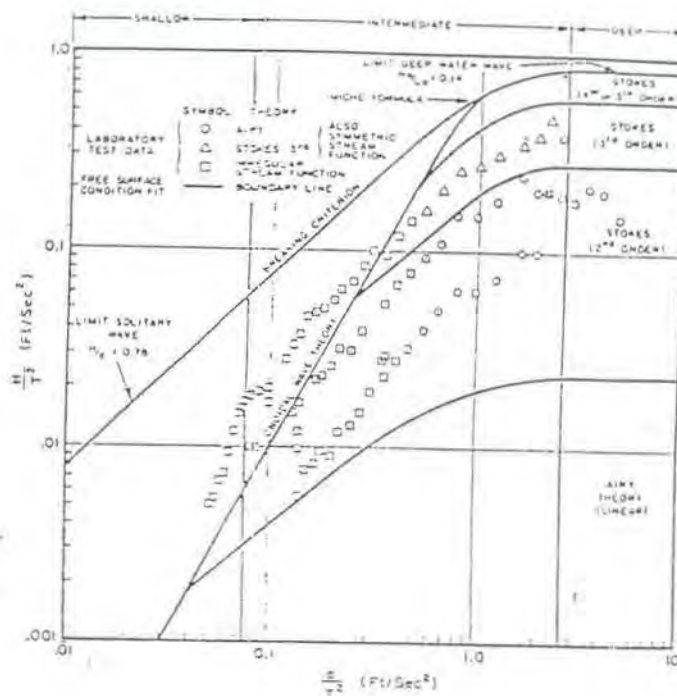
Gambar 2.1. Pendekatan alternatif untuk menggambarkan gelombang laut [Wilson (1984)].

### 2. 1. 1. Region of Validity.

Sejumlah teori gelombang telah dikembangkan untuk diterapkan pada lingkungan laut yang berbeda. Perbedaan tersebut biasanya oleh beberapa parameter lingkungan spesifik yaitu kedalaman air, tinggi gelombang dan periode gelombang. Kebanyakan dari teori gelombang yang yang biasanya digunakan untuk disain struktur bangunan lepas pantai berdasarkan pada ketiga parameter diatas.

Penerapan teori gelombang untuk kondisi lingkungan laut tertentu baik secara analitis maupun empiris, harus memenuhi beberapa persyaratan yang telah diteliti sebelumnya dan sudah dipublikasikan. Hal ini digambarkan dalam sebuah diagram *Region of Validity* seperti tampak pada Gambar 2.2.





Gambar 2. 2. *Region of Validity* [Chakrabarti (1987)].

Diagram diatas merupakan hasil penelitian dari Dean (1968) dan LeMehaute (1970) yang paling sering digunakan sebagai acuan untuk memilih teori gelombang yang sesuai dengan kondisi perairan tertentu. Pada diagram diatas, ketiga parameter yang mewakili kondisi laut tertentu yaitu tinggi gelombang  $H$ , periode gelombang  $T$  dan kedalaman  $d$  dinyatakan dalam bentuk  $d/T^2$  sebagai absis dan  $H/T^2$  sebagai ordinat. [Chakrabarti (1987)]. Dengan menentukan kedua parameter diatas, maka bisa ditentukan teori gelombang mana yang sesuai untuk perairan tersebut. Selain itu dari diagram ini bisa diperoleh informasi tentang identifikasi perairan tersebut apakah termasuk laut dangkal menengah atau laut dalam.

### 2. 1. 2. Teori Gelombang Airy.

Salah satu teori gelombang yang paling sederhana dan paling banyak dipakai adalah teori gelombang *Airy* atau dikenal juga dengan teori gelombang linier atau teori gelombang sinusoidal. Teori ini dibangun berdasarkan asumsi bahwa tinggi gelombang adalah kecil bila dibandingkan dengan panjang gelombang ataupun kedalaman laut.

Parameter yang diperoleh dari penurunan teori gelombang adalah kecepatan dan percepatan partikel air baik horizontal maupun vertikal, profil gelombang dan tekanan dinamis. Proses penurunan dari teori gelombang itu sendiri tidak termasuk dalam tulisan ini. Beberapa parameter teori gelombang diatas akan ditampilkan berikut ini.

Kecepatan partikel air untuk teori gelombang *Airy* diberikan sebagai berikut:

$$\text{Horizontal: } u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \theta \quad (2.1)$$

$$\text{Vertikal: } v = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh ks}{\sinh kd} \sin \theta \quad (2.2)$$

sedangkan percepatan airnya diberikan sebagai diferensiasi dari kecepatan  $u$  dan  $v$  terhadap waktu  $t$ :

$$\text{Horizontal: } \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \sin \theta \quad (2.3)$$

$$\text{Vertikal: } \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\sinh ks}{\sinh kd} \cos \theta \quad (2.4)$$

Kadang-kadang  $u$  dan  $v$  bisa dinyatakan dalam bentuk lain yaitu:

$$u = \frac{gkH}{2\omega} \frac{\cosh ks}{\cosh kd} \cos \theta \quad (2.5)$$

$$v = \frac{gkH}{2\omega} \frac{\sinh ks}{\cosh kd} \sin \theta \quad (2.6)$$

demikian juga untuk percepatannya:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{gkH}{2} \frac{\cosh ks}{\cosh kd} \sin \theta \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{gkH}{2} \frac{\sinh ks}{\cosh kd} \cos \theta \quad (2.8)$$

Adapun profil gelombang *Airy* diberikan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{H}{2} \frac{\sinh ks}{\sinh kd} \cos \theta \quad (2.9)$$

## 2. 2. FORMULASI GAYA GELOMBANG.

Seperti yang telah digambarkan pada bagian terdahulu dari tulisan ini, bahwa ada banyak jenis bangunan lepas pantai. Ditinjau dari elemen penyusunnya, ada struktur yang tersusun dari elemen-elemen tubular yang kecil, beton dan ada pula yang tersusun atas silinder dengan diameter yang besar. Perbedaan tipe dan ukuran elemen yang menjadi penyusun bangunan lepas pantai ini, menyebabkan perbedaan pada formulasi gaya gelombangnya.

Chakrabarti (1987) menyatakan bahwa formulasi gaya gelombang bisa dihitung dengan tiga cara yaitu:

1. Persamaan Morison.
2. Teori Froude-Krylov.
3. Teori Difraksi.

Persamaan Morison biasanya digunakan apabila dimensi struktur dalam hal ini adalah diameternya adalah kecil bila dibandingkan dengan panjang gelombang



yaitu  $D/L \leq 0,2$  sehingga karakteristik gelombang tidak terpengaruh setelah melewati struktur. Tetapi apabila dimensi struktur sebanding dengan panjang gelombang yaitu  $D/L > 0,2$  maka karakteristik gelombang akan berubah setelah mengenai struktur dan ini berarti interaksi antara gelombang dengan struktur harus diperhitungkan. Dalam hal ini perhitungan beban gelombang menggunakan teori difraksi. Untuk struktur frame seperti *guyed tower*, teori Morison cukup valid untuk perhitungan beban gelombang.

## 2. 2. 1. Persamaan Morison.

Persamaan Morison dikemukakan oleh Morison, O'Brien, Johnson dan Shaaf (1950) untuk menggambarkan gaya gelombang yang bekerja pada silinder vertikal. Morison menyatakan bahwa gaya yang ditimbulkan oleh gelombang permukaan yang tidak pecah pada sebuah silinder terdiri dari dua komponen yaitu *inersia* dan *drag* [Chakrabarti (1987)]. Kedua komponen tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$df_I = C_M \rho \frac{\pi}{4} D^2 \frac{\partial u}{\partial t} ds \quad (2.10)$$

$$df_D = \frac{1}{2} C_D \rho D |u| u ds \quad (2.11)$$

Kedua komponen tersebut kemudian dijumlahkan untuk memperoleh gaya gelombang total persatuan panjang:

$$f = C_M A_I \frac{\partial u}{\partial t} + C_D A_D |u| u \quad (2.12)$$

dimana:



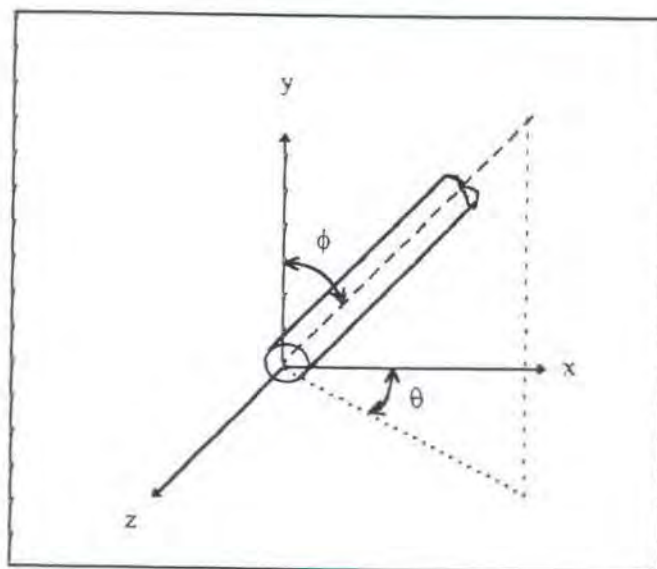
$$A_t = \rho \frac{\pi}{4} D^2$$

dan

$$A_D = 0,5 \rho D$$

### 2. 2. 2. Gaya Gelombang pada Silinder Miring.

Pengembangan dari persamaan Morison untuk silinder miring diekspresikan dalam bentuk ektor kecepatan dan percepatan normal terhadap sumbu silinder [Borgman (1958)]. Tetapi dalam aplikasinya kecepatan dan percepatan normal tersebut ditransformasikan menjadi komponen horizontal dan komponen vertikal.



Gambar 2.3. Sket kedudukan silinder miring.

Sebagai gambaran dapat dilihat silinder miring pada Gambar 2.3. Dengan asumsi bahwa arah propagasi gelombang pada x-positif, maka gerakan partikel air

akan mempunyai kecepatan horizontal dan vertikal  $u$  dan  $v$  dan percepatan horizontal dan vertikal  $a_x$  dan  $a_y$ . Dengan sudut  $\phi$  dan  $\theta$  yang mendefinisikan kedudukan silinder, maka kecepatan partikel air normal terhadap sumbu silinder dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\nabla = [u^2 + v^2 - (C_X u + C_Y v)^2]^{1/2} \quad (2.13)$$

dengan komponen pada arah  $x$ ,  $y$  dan  $z$  adalah:

$$\begin{aligned} u_n &= u - C_X (C_X u + C_Y v) \\ v_n &= v - C_Y (C_X u + C_Y v) \\ w_n &= -C_Z (C_X u + C_Y v) \end{aligned} \quad (2.14)$$

dimana:

$$C_X = \sin \phi \cos \theta$$

$$C_Y = \cos \phi$$

$$C_Z = \sin \phi \sin \theta$$

sedangkan komponen percepatan normal pada arah  $x$ ,  $y$  dan  $z$  adalah:

$$\begin{aligned} a_{nx} &= a_x - C_X (C_X a_x + C_Y a_y) \\ a_{ny} &= a_y - C_Y (C_X a_x + C_Y a_y) \\ a_{nz} &= -C_Z (C_X a_x + C_Y a_y) \end{aligned} \quad (2.15)$$

Dengan demikian persamaan Morison bisa dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f_x &= C_M A_I a_{nx} + C_D A_D \nabla u_n \\ f_y &= C_M A_I a_{ny} + C_D A_D \nabla v_n \\ f_z &= C_M A_I a_{nz} + C_D A_D \nabla w_n \end{aligned} \quad (2.16)$$



dan gaya normal total yang bekerja pada silinder persatuan panjang adalah:

$$f = \pm (f_x^2 + f_y^2 + f_z^2)^{1/2} \quad (2.17)$$

### 2. 3. PENDEKATAN PROBABILISTIK GELOMBANG LAUT.

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa selain teori gelombang sebagai representasi deterministik gelombang laut, ada pendekatan lain yang biasanya dipakai untuk menjelaskan kondisi gelombang laut, yaitu dengan pendekatan probabilistik. Dengan pendekatan ini kondisi gelombang laut diwakili oleh parameter statistik yang biasanya disajikan dalam bentuk spektra gelombang.

Spektra gelombang memberikan informasi tentang besarnya energi total yang ditimbulkan oleh gelombang pada kondisi tertentu (*sea state*). Ada banyak jenis formulasi spektra gelombang berdasarkan hasil penelitian para ahli. Spektra satu parameter yang paling umum dan menjadi bentuk dasar dari beberapa spektra yang lain adalah spektra gelombang *Pierson-Moskowitz* (1964) yang mempunyai satu parameter yaitu tinggi gelombang signifikan  $H_s$  atau kecepatan angin. Sedangkan spektra gelombang dengan dua parameter ada beberapa diantaranya yang paling sering digunakan adalah *Bretschneider* (1969), *Scott* (1965), *ISSC* (1964) dan *ITTC* (1966). Spektra *JONSWAP* [Hasselmann (1973)] mempunyai lima parameter, tetapi biasanya tiga diantaranya dianggap konstan.

Masalah yang timbul kemudian adalah pemilihan spektra gelombang yang paling cocok diterapkan untuk jenis perairan tertentu. Hal ini sepenuhnya tergantung perancang. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini akan digunakan salah

satu dari spektra dua parameter diatas yaitu spektra *Bretschneider*. Pemilihan model spektra gelombang ini karena laut utara (*North Sea*) sebagai lokasi operasi *guyed tower* termasuk perairan terbuka dengan energi gelombang yang cukup besar sesuai dengan yang digambarkan oleh spektra tersebut. Selain itu data kejadian gelombang yang tersedia merupakan gabungan dari dua parameter gelombang yaitu tinggi gelombang signifikan  $H_s$  dan periode puncak  $T_0$ . [Chakrabarti (1987)].

Formulasi spektra *Bretschneider* diberikan sebagai berikut:

$$S(\omega) = 0.168 H_s^2 \frac{\omega_s^4}{\omega^5} e^{-0.675(\omega_s/\omega)^4} \quad (2.18)$$

dimana  $\omega_s = 2\pi T_s$ ,  $H_s$  adalah tinggi gelombang signifikan dan  $T_s$  adalah periode gelombang signifikan. Dari formulasi spektra *Bretschneider* diatas diperoleh hubungan antara periode gelombang signifikan dan periode puncak gelombang yaitu:

$$T_s = 0.946 T_0 \quad (2.19)$$

### **BAB III**

## **STRUKTUR GUYED TOWER**

Struktur *guyed tower* diperkenalkan pertama kali oleh Finn L. D. dari *Exxon Production Research Co.* pada tahun 1976 sebagai teknologi baru bangunan lepas pantai baik untuk *drilling* maupun *production* yang dirancang khusus untuk laut dalam. Pada tulisan yang lain K. T. Koonce, seorang *division manager* dari perusahaan yang sama menyatakan bahwa untuk laut dalam, struktur jacket biasa sudah tidak efektif dan tidak ekonomis dibandingkan dengan konsep struktur yang dirancang khusus untuk itu.

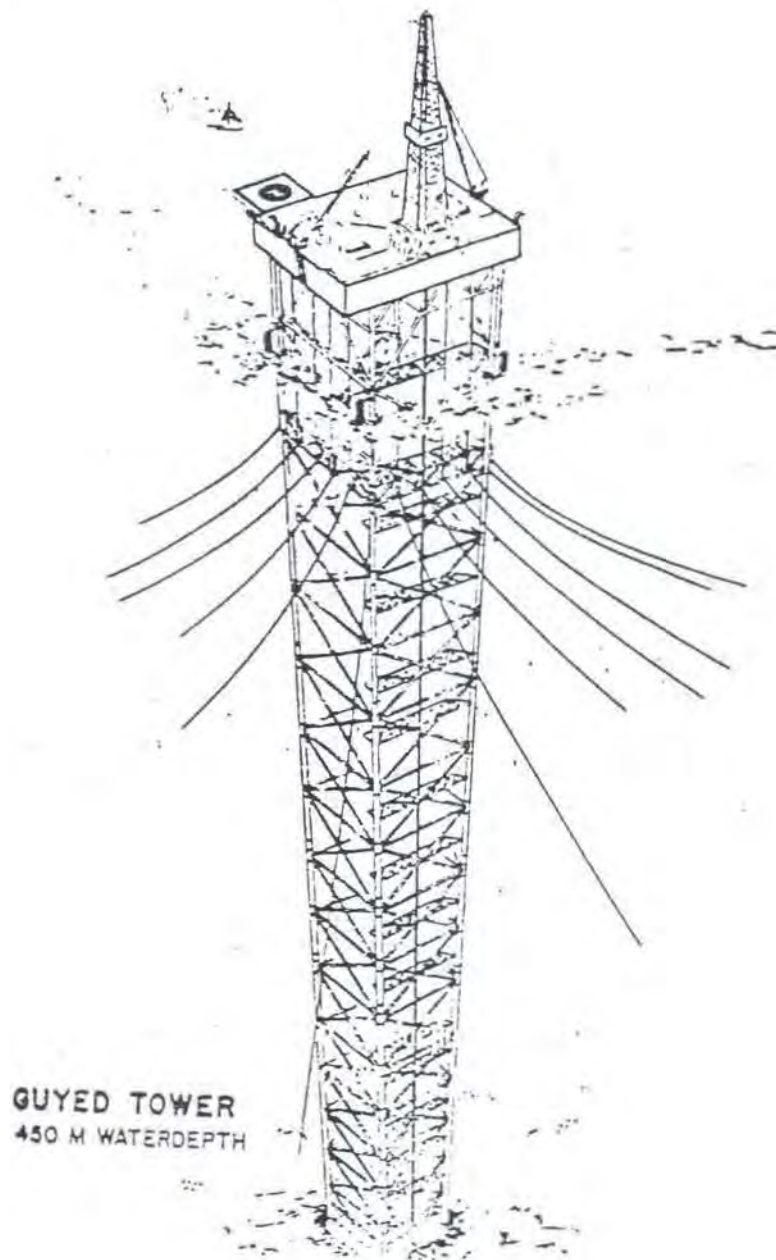
Pernyataan kedua ahli diatas rupanya cukup beralasan, paling tidak karena dua hal. *Pertama*, proses fabrikasi dan instalasinya bisa dilakukan dengan menggunakan perlengkapan dan teknologi yang sudah ada. *Kedua*, biaya pembuatannya lebih murah dibandingkan dengan struktur jacket biasa untuk kedalaman yang sama. Akhirnya keduanya menyatakan bahwa struktur *guyed tower* dirancang untuk kedalaman 600 sampai 2000 feet (185-600 m).

### **3. 1. GAMBARAN UMUM STRUKTUR GUYED TOWER**

*Guyed tower* adalah struktur frame tanpa *batter*, yang ditambatkan ke dasar laut dengan *guying system*. Sebagai pengganti tiang pancang, pondasi *guyed tower* menggunakan *spud can* seperti yang digunakan pada *jack up*. Sebagai stabilisator gerakan struktur *guyed tower*, maka pada *guying system* dipasang



*clump weight* yang dalam kondisi normal terletak di dasar laut yang kemudian ditambatkan dengan jangkar (*boss anchor*). Gambaran dari ilustrasi diatas bisa dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. *Guyed Tower*.

### 3. 1. 1. Struktur Utama Guyed Tower

Struktur utama *guyed tower* terdiri dari 4 kaki simetris yang dihubungkan satu dengan lainnya dengan *x-bracing*. Untuk kedalaman laut 1500 feet (457m), diameter kaki struktur biasanya berkisar antara 5-8 feet (150-240cm) dengan spasi 100 feet (30m). Sedangkan untuk *bracing* baik horizontal maupun diagonal biasanya berkisar antara 2,5-3,0 feet (75-90cm). Kapasitas deck dirancang untuk mampu menampung perlengkapan *drilling* sebanyak 20 sampai 40 sumur. Struktur rangka dengan *cross-section* yang konstan seperti *guyed tower* ini membuat biaya pembuatan dan instalasinya menjadi murah bila dibandingkan dengan struktur jacket biasa untuk kedalaman laut yang sama.

Sesuai dengan batas kedalaman yang disarankan untuk struktur *guyed tower*, maka pada batas bawah kedalaman tersebut *guyed tower* dihadapkan pada beberapa batasan teknis. Finn L. D. (1976) menyatakan bahwa sudut kemiringan *tower* akibat beban gelombang akan bertambah dengan pengurangan kedalaman. Hal ini menyebabkan tegangan bending konduktor pada *mud line* akan bertambah dan kapasitas penahan beban *spud can* akan berkurang akibat bertambahnya rotasi *spud can*.

### 3. 1. 2. Sistem Tali Penambat (Guying System)

Permasalahan kemampuan struktur untuk menahan beban horizontal merupakan daya tarik tersendiri bagi perancang. Untuk permasalahan ini *guyed tower* menggunakan sistem tali penambat (*guying system*). Jumlah *guylines* ini biasanya berkisar antara 10 hingga 20 yang diatur dengan simetris mengelilingi



*tower*. Masing-masing *guyline* ditambatkan pada deck platform, dan sebelum ditarik kedasar laut terlebih dahulu harus melewati *fairleads* yang ditempatkan sekitar 50 feet (15,24m) dibawah permukaan air laut. Adapun sudut yang dibentuk oleh *guylines* ini kira-kira 60 derajat dengan vertikal.

Berbeda dengan jacket biasa yang biasanya diidealisasikan dengan batang kantilever dari dasar laut, maka dengan adanya *guylines* ini pondasi *guyed tower* yaitu *spud can* tidak mengalami *overturning moment* yang besar. Oleh karena itu *guylines* inilah yang paling banyak melawan beban gelombang dan reaksi horizontal pada *spud can* relatif kecil.

Analisa perilaku *guying system* ini tidak termasuk dalam pembahasan tugas akhir ini. Untuk memperoleh informasi tentang detail analisa *guying system* ini, bisa dilihat pada beberapa referensi diantaranya yang ditulis oleh Kardomateas. G. *et al* (1982), Nair. D. and Duval P. S. (1982) dan Finn L. D. and Young K. E. (1976).

### 3. 1. 3. Clump weight, Spud can dan Jangkar

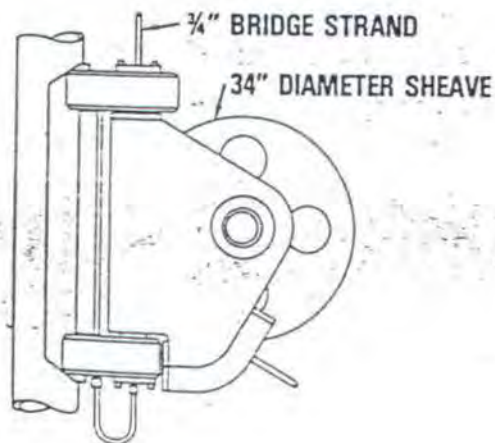
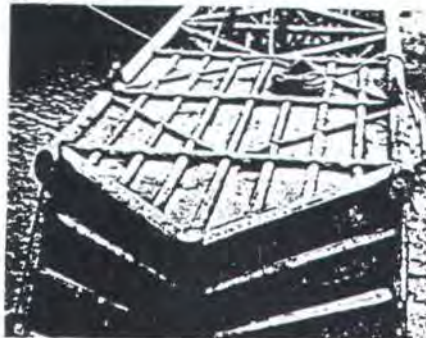
Bagian lain dari struktur *guyed tower* adalah *clump weight*. Ada beberapa keuntungan yang didapat dengan menggunakan *clump weight* ini yaitu: *guylines* lebih pendek dengan sudut yang lebih curam daripada *guying system* konvensional. Satu hal lagi yang lebih penting adalah bahwa dengan adanya *clump weight* ini maka *guylines* akan senantiasa dalam kondisi tertarik kencang. Hasilnya, untuk gaya gelombang yang kecil gerakan *tower* akan relatif tenang dengan displasmen hanya beberapa inchi untuk tinggi gelombang 10-20 feet.



*Clump weight* ini akan terangkat dari dasar laut untuk meredam gerakan *guylines* hanya pada saat ada badai yang keras sampai pada kondisi *guylines* hanya tertahan oleh jangkar.

Komponen lain dari struktur yang menjadi salah satu yang membedakan *guyed tower* dengan struktur jacket biasa adalah *spud can*. Kalau pada jacket biasa menggunakan pile untuk menyalurkan gaya gravitasi ke dalam tanah, maka pada *guyed tower* tugas ini dilakukan oleh *spud can*. Selain itu *spud can* juga berfungsi sebagai cadangan daya apung pada saat instalasi.

Bentuk fisik komponen struktur *guyed tower* seperti pada penjelasan diatas, dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2. Beberapa komponen struktur *guyed tower*. (a). *Clump weight*, (b). *Boss anchor*, (c). *Spud can*, (d). *Fairlead*.

### 3. 2. ANALISA PERILAKU STRUKTUR GUYED TOWER

Deskripsi tentang *guyed tower* diatas meskipun masih berupa penjelasan umum tetapi paling tidak sudah bisa gambaran tentang konsep dasar struktur *guyed tower*, yang berbeda dengan struktur jacket biasa. Lebih lanjut Finn, L. D. *et al* (1978) menegaskan tentang perbedaan ini dengan menyatakan bahwa *guyed tower* mempunyai periode natural fundamental yang lebih besar daripada periode gelombang sehingga gaya inersia struktur selalu berlawanan dengan arah gaya gelombang. Fenomena seperti ini tidak terjadi pada struktur jacket konvensional untuk kedalaman perairan yang sama.

Pada saat gaya inersia mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap respon struktur seperti pada pernyataan diatas, maka metode analisa yang digunakan untuk mempelajari perilaku struktur juga akan berbeda. Dalam perencanaan struktur jacket konvensional metode analisa statis masih bisa diterima karena periode natural struktur jauh lebih kecil dibandingkan dengan periode gelombang. Tetapi apabila periode natural struktur sudah mulai mendekati atau bahkan sudah melebihi periode gelombang dengan energi yang signifikan seperti pada *guyed tower*, maka analisa statis sudah tidak lagi bisa mewakili respon struktur. Dalam hal ini diperlukan metode analisa dinamis yang memperhitungkan lebih banyak variabel.



### **3. 2. 1. Analisa Dinamis Struktur Guyed Tower**

Salah satu parameter penting dalam menentukan efek dinamis dari struktur adalah frekuensi natural yaitu kuantitas getaran yang bisa terjadi setiap detik atau periode natural yaitu waktu yang dibutuhkan struktur untuk melakukan satu getaran secara lengkap.

Untuk menentukan frekuensi natural struktur ada 3 macam properti fisik dari konfigurasi struktur yang harus diperhitungkan yaitu massa efektif, kekakuan dan *damping* dari struktur.

#### **3. 2. 1. 1. Massa Efektif Struktur**

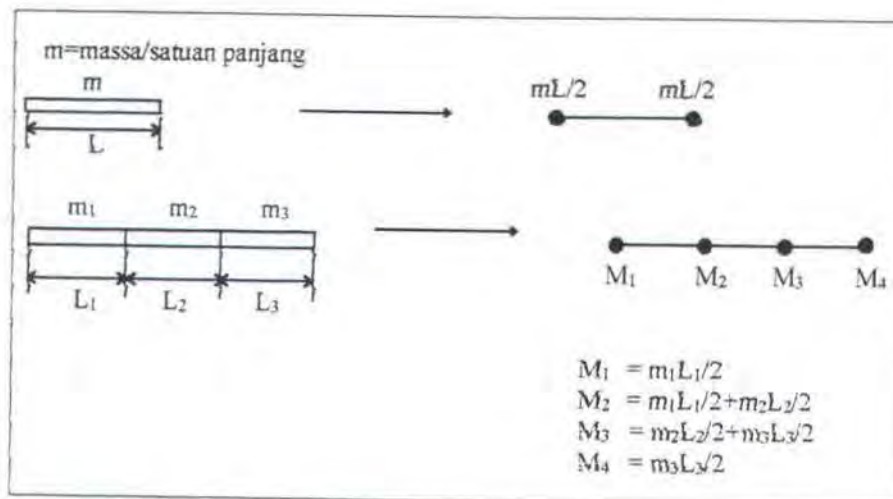
Tahap pertama dalam menentukan massa struktur adalah menentukan massa masing-masing komponen struktur dan distribusinya. Untuk struktur bangunan laut, perhitungan massa struktur tidak hanya melibatkan massa struktur itu sendiri tetapi juga harus ditambahkan dengan massa air yang ada didalam struktur dan massa air yang dipindahkan pada saat struktur bergerak. Massa tambahan ini lebih dikenal dengan massa tambah (*added mass*).

Perhitungan massa tambah ini sangat penting dalam menentukan aspek dinamis dari struktur karena bagaimanapun juga massa ini ikut bergerak pada saat struktur berosilasi.

Untuk memudahkan analisa, maka perlu dibuat model analisa yang tentunya lebih sederhana dari bentuk struktur yang sebenarnya. Massa struktur adalah salah satu komponen yang perlu disederhanakan. Salah satu metode konvensional yang paling banyak ditempuh untuk mengidealisasikan struktur



adalah memusatkan massa struktur pada titik-titik dimana dimungkinkan terjadi perpindahan. Dengan metode ini model struktur dibagi menjadi beberapa node dengan massa yang terpusat pada setiap *node*. Metode ini disebut dengan metode massa terpusat (*lumped mass*). Visualisasi model *lumped mass* ini selengkapny bisa dilihat pada Gambar 3.3. Untuk elemen uniform dengan massa terdistribusi  $m$  dan panjang  $l$ , maka model massa terpusatnya didapatkan dengan cara membagi  $ml$  menjadi dua bagian dan memusatkan masing-masing pada kedua ujung elemen dengan  $ml/2$ . Cara yang sama ditempuh untuk struktur yang terdiri dari beberapa elemen.



Gambar 3.3. Massa terpusat (*lumped mass*).

### 3. 2. 1. 2. Kekakuan Struktur

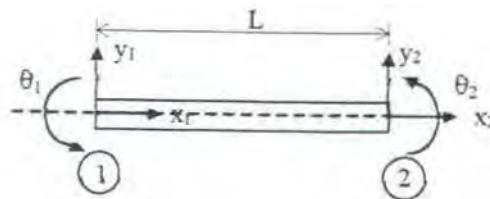
Kekakuan (*stiffness*) pada dasarnya adalah faktor yang menghubungkan antara perpindahan pada *nodal point* dengan gaya luar yang bekerja pada *nodal point* tersebut. Secara matematis hubungan tersebut bisa dinyatakan sebagai berikut:

$$F = K \cdot x \quad (3.1)$$

Untuk struktur batang dua dimensi dengan 3 derajat kebebasan pada masing-masing *joint*, seperti tampak pada Gambar 3.4, maka matriks kekakuannya adalah:

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$K_{11}$  diartikan sebagai perpindahan pada titik 1 akibat gaya yang bekerja pada titik 1, sedangkan  $K_{12}$  adalah gaya pada titik 1 yang menyebabkan perpindahan pada titik 2.



Gambar 3.4. Batang dua dimensi.

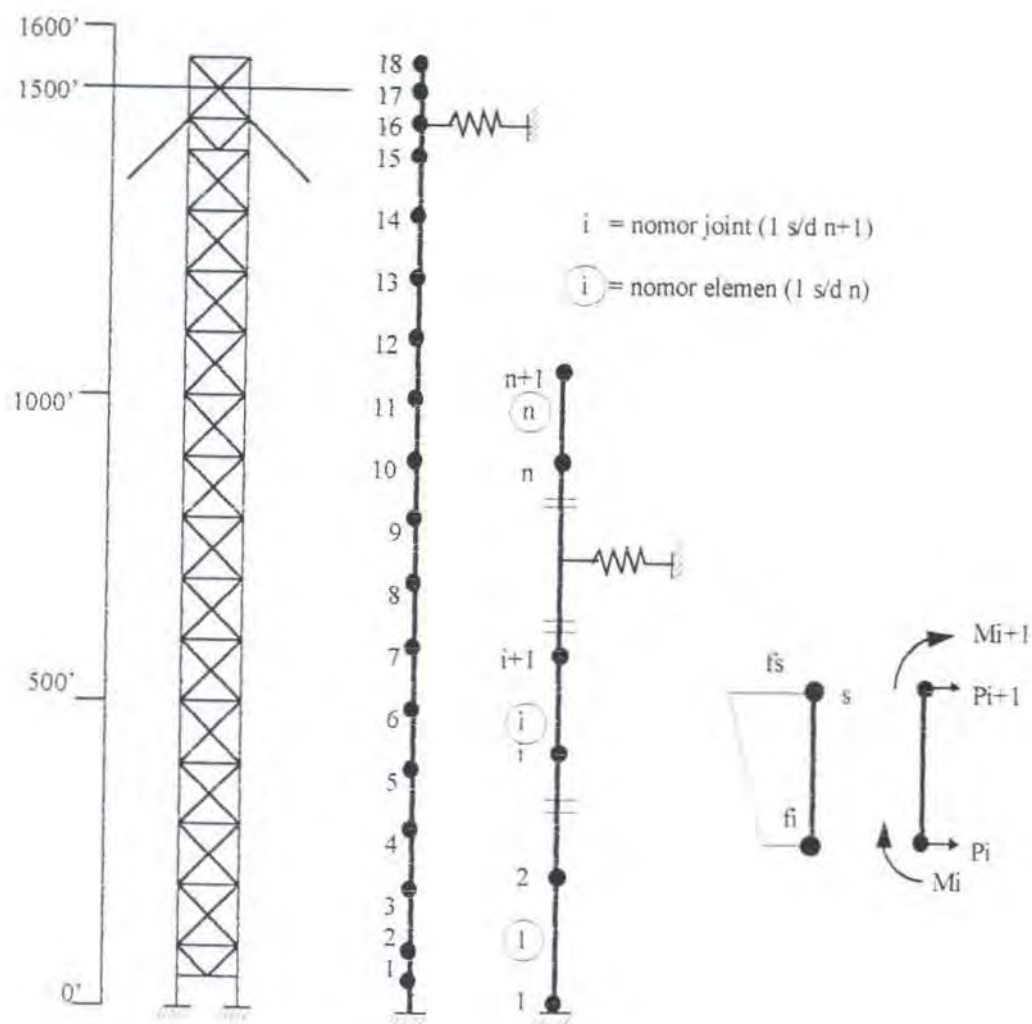
Matriks kekakuan selengkapnya dari struktur batang dua dimensi pada gambar diatas adalah:

$$\begin{bmatrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ F_{\theta1} \\ F_{x2} \\ F_{y2} \\ F_{\theta2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ \frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ \theta_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ \theta_2 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

### 3. 2. 1. 3. Pemodelan Struktur

Untuk mempermudah perhitungan, maka struktur dimodelkan menjadi bentuk yang lebih sederhana daripada bentuk yang sebenarnya.

Dalam analisa ini struktur *guyed tower* dimodelkan sebagai sebuah garis dengan 18 massa terpusat yang ditempatkan pada level struktur yang dimungkinkan terjadi perpindahan. Sedangkan simulasi *guylines* dalam analisa diidealisasikan sebagai sebuah pegas (*spring*) dengan konstanta tertentu. Pemodelan struktur ini bisa dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Pemodelan struktur *guyed tower*.



Dengan pemodelan ini, maka perhitungan gaya gelombang tidak perlu dilakukan pada setiap elemen dari struktur tetapi cukup pada *joint* dimana terdapat massa terpusat.

Formulasi intensitas beban gelombang persatuan tinggi tower diberikan oleh Basu A. K. dan Dutta A. (1982) sebagai berikut:

$$f(t) = 0.5 C_D \rho D_D |u| u + \frac{\pi}{4} C_M \rho D_I^2 \ddot{u} \quad (3.4)$$

dimana  $C_D$  dan  $C_M$  adalah koefisien *drag* dan *inersia*,  $\rho$  adalah massa jenis air laut,  $u$  dan  $\ddot{u}$  adalah kecepatan dan percepatan partikel air yang bisa dilihat pada bagian terdahulu dari tugas akhir ini. Sedangkan  $D_D$  dan  $D_I$  adalah diameter *drag* dan *inersia* yang diberikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} D_D &= \sum_{i=1}^N D_i \\ D_I &= \sqrt{\sum_{i=1}^N D_i^2} \end{aligned} \quad (3.5)$$

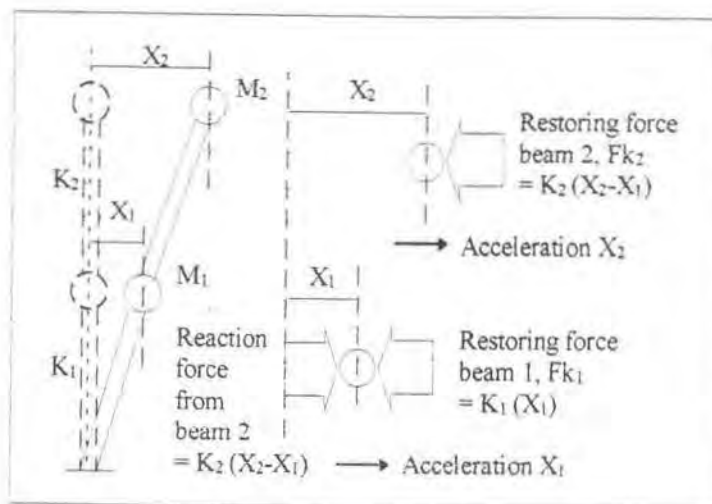
dimana  $D_i$  ( $i=1,2,\dots,N$ ) adalah diameter dari  $N$  member yang ada pada setiap level atau seksi struktur seperti yang terdapat dalam model struktur. [Kardomateas G. *et al* (1982)].

### 3. 2. 1. 4. *Getaran Bebas (Free Vibration) dari Struktur*

Seperti yang telah dijelaskan pada bagian terdahulu bahwa salah satu parameter penting dalam menentukan efek dinamis dari struktur adalah frekuensi/periode natural dari struktur.

Frekuensi atau periode natural ini didapatkan dari analisa getaran bebas (*free vibration*) dari struktur. Untuk mengilustrasikan hal tersebut, sebuah sistem dengan 2 derajat kebebasan berikut ini barangkali bisa menjadi gambaran untuk menganalisa sistem dengan derajat kebebasan yang lebih banyak.

Pada Gambar 3.6, masing-masing massa hanya bebas bergerak translasi pada arah horizontal, sehingga model tersebut mempunyai 2 derajat kebebasan. Dalam analisa ini faktor *damping* tidak dimasukkan dalam perhitungan dan hanya mempertimbangkan getaran bebas dari struktur (*free vibration*).



Gambar 3.6. Sistem dengan 2 derajat kebebasan.

Untuk massa  $M_1$ :

$$\begin{aligned} M_1 \ddot{x}_1 &= FK_2 - FK_1 \\ &= K_2(x_2 - x_1) - K_1 x_1 \end{aligned} \quad (3.6)$$

dan untuk massa  $M_2$ :

$$\begin{aligned} M_2 \ddot{x}_2 &= -FK_2 \\ &= -K_2(x_2 - x_1) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Kedua persamaan diatas kemudian dibentuk menjadi 2 persamaan simultan untuk  $x_1$  dan  $x_2$  :

$$\begin{aligned} M_1 \ddot{x}_1 + (K_1 + K_2)x_1 - K_2 x_2 &= 0 \\ M_2 \ddot{x}_2 - K_2 x_1 + K_2 x_2 &= 0 \end{aligned} \quad (3.8)$$

Penyelesaian dari persamaan diatas adalah:

$$\begin{aligned} x_1 &= X_1 \sin \omega t \quad \text{dan} \quad \ddot{x}_1 = -\omega^2 x_1 \\ x_{21} &= X_2 \sin \omega t \quad \text{dan} \quad \ddot{x}_2 = -\omega^2 x_2 \end{aligned} \quad (3.9)$$

Kemudian Persamaan (3.9) disubstitusikan ke dalam Persamaan (3.8):

$$\begin{aligned} (K_1 + K_2 - M_1 \omega^2)x_1 - K_2 x_2 &= 0 \\ -K_2 x_1 + (K_2 - M_2 \omega^2)x_2 &= 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

Dari persamaan diatas didapatkan determinan frekuensi dan persamaan frekuensi sebagai berikut:

$$\begin{vmatrix} K_1 + K_2 - M_1 \omega^2 & -K_2 \\ -K_2 & K_2 - M_2 \omega^2 \end{vmatrix} = 0 \quad (3.11)$$

$$(K_1 + K_2 - M_1 \omega^2)(K_2 - M_2 \omega^2) - K_2^2 = 0$$

Dari Persamaan (3.11) diatas didapatkan dua macam frekuensi natural sistem yaitu:

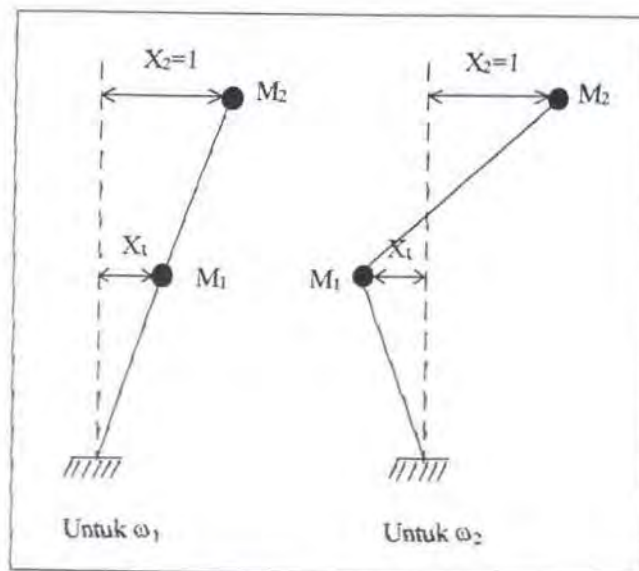
$$\omega_{1,2} = \left[ \frac{(K_1 M_2 + K_2 M_2 + K_2 M_1) \pm \sqrt{(K_1 M_2 + K_2 M_2 + K_2 M_1)^2 - 4 M_1 M_2 K_1 K_2}}{2 M_1 M_2} \right]^{1/2} \quad (3.12)$$

dan amplitudo relatif dari tiap-tiap massa pada masing-masing frekuensi adalah:

$$X_1 = \left( \frac{K_2}{K_1 + K_2 - M_1 \omega_1^2} \right) X_2 = \left( \frac{K_2 - M_2 \omega_1^2}{K_2} \right) X_2 \quad (3.13)$$



Amplitudo relatif  $X_1$  dan  $X_2$  pada kasus diatas jika digambarkan ke dalam bentuk grafis akan menunjukkan bentuk defleksi setiap massa struktur pada masing-masing frekuensi natural yang disebut dengan *mode shape*.



Gambar 3.7. *Mode Shape* untuk sistem dengan 2 derajat kebebasan.

Untuk Struktur dengan  $n$  derajat kebebasan maka persamaan (3.8) diatas dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$M \ddot{x} + K x = 0 \quad (3.14)$$

dimana:

$$M = \begin{bmatrix} M_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & M_2 & & \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & & & M_n \end{bmatrix} \quad \text{disebut matriks massa}$$

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & & & & \\ \cdot & & \cdot & & & \\ \cdot & & & \cdot & & \\ \cdot & & & & \cdot & \\ K_{n1} & & & & & K_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{disebut matriks kekakuan}$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad \ddot{x} = \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \ddot{x}_n \end{bmatrix} \quad \text{masing-masing disebut sebagai vektor displasmen dan percepatan.}$$

Dengan menganggap bahwa respon adalah harmonik yaitu  $x(t) = X_0 \sin \omega_n t$ , maka Persamaan (3.14) dapat ditulis sebagai:

$$(-\omega^2 M + K)x = 0 \quad (3.15)$$

maka determinan frekuensi dari persamaan diatas adalah:

$$|-\omega^2 M + K| = 0 \quad (3.16)$$

Sebanyak  $n$  natural frekuensi dari sistem didapatkan dengan menyelesaikan persamaan polinomial orde  $n$  sebagai berikut:

$$a_n(\omega^2)^n + a_{n-1}(\omega^2)^{n-1} + \dots + a_1(\omega^2) + a_0 = 0 \quad (3.17)$$

sedangkan *mode shape* pada setiap frekuensi didapatkan dengan memasukkan frekuensi natural  $n$  ke dalam Persamaan (3.15).

### 3. 2. 2. Karakteristik Perilaku Struktur Guyed Tower

Hasil analisa diatas akan memberikan sejumlah *mode shape* dari gerakan struktur dan periode natural pada setiap *mode shape* yang banyaknya sesuai

dengan jumlah derajat kebebasan struktur. Tetapi dalam aplikasi, perancang biasanya hanya mempertimbangkan beberapa mode gerakan pertama yang memberikan pengaruh signifikan terhadap respon struktur.

Nair D. dan Duval P. S. (1982) menyatakan bahwa perilaku dinamis struktur *guyed tower* akibat eksitasi gelombang banyak dikontrol oleh 3 mode getaran yang pertama yaitu mode *sway*, *flexural* dan *torsional*.

Mode *sway* adalah mode dasar dari gerakan *guyed tower* pada arah lateral. Pada dasarnya mode ini adalah mode getaran dari benda tegar dengan lengkungan (*bending*) yang kecil. Periode natural dari mode ini ditentukan oleh tinggi tower, distribusi massa dan kekakuan lateral dari *mooring system*. Gerakan dan respon struktur *guyed tower* terhadap eksitasi gelombang banyak dikontrol oleh mode ini.

Mode kedua yang juga dalam arah lateral adalah mode bending (*flexural*). Periode natural dan *mode shape* dari mode ini ditentukan oleh distribusi massa dan kekakuan struktur serta kekakuan lateral dari pondasi struktur. Salah satu pendekatan yang dipakai untuk menentukan periode natural dari mode ini adalah dengan mengidealisasikan *guyed tower* sebagai batang dengan tumpuan engsel pada dasar struktur dan ujung yang lain dibebaskan. Karena periode natural dari mode ini relatif kecil dan banyak berdekatan dengan periode gelombang dengan jumlah kejadian (*cycle*) yang tinggi, maka mode ini sangat penting untuk mempelajari perilaku kelelahan struktur *guyed tower*.

Mode ketiga adalah mode *torsional* yang banyak dipengaruhi oleh kekakuan pondasi struktur. Sedangkan mode keempat adalah mode vertikal yang sangat penting untuk analisa respon struktur *guyed tower* terhadap beban gempa.



Mencermati kembali pernyataan diatas, maka analisa kelelahan seharusnya dilakukan berdasarkan mode bending (*flexural*). Mode ini memberikan visualisasi bahwa bagian struktur yang paling banyak mengalami getaran dengan displasmen terbesar adalah bagian tengah dari struktur *guyed tower*.

### 3. 3. ANALISA TEGANGAN

Analisa perilaku struktur *guyed tower* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, merupakan suatu metode analisis untuk mengetahui perilaku alami (*natural behaviour*) seperti periode dan frekuensi natural struktur. Dengan begitu analisis struktur selanjutnya akan lebih terarah dengan mengetahui informasi ini. Selain itu analisis dinamis ini juga digunakan untuk menentukan dengan tepat bagian struktur yang rentan terhadap kelelahan, sehingga dengan demikian analisis kelelahan tidak perlu dilakukan pada seluruh bagian struktur. Sedangkan untuk analisa tegangan dilakukan secara lokal pada bagian yang dimaksud dengan menerapkan analisa statis (*static analysis*).

Pada tahap ini, diambil satu atau beberapa joint pada level tertentu (sesuai dengan hasil yang diperoleh dari analisa dinamis) untuk dianalisa tegangannya. Tahap pertama dari analisa statis ini adalah menerapkan teori gelombang linier untuk menghitung kecepatan dan percepatan partikel air, serta persamaan Morison untuk menghitung intensitas gaya gelombang pada silinder.

Gaya gelombang yang diperoleh kemudian ditransfer kedalam bentuk tegangan dengan terlebih dahulu menghitung momen yang bekerja pada joint

tersebut akibat gaya gelombang. Selanjutnya dengan memvariasikan frekuensi gelombang dengan selisih tertentu, maka kurva RAO tegangan (*stress response amplitude operator*) kemudian bisa diperoleh.

Analisa tegangan kurun waktu panjang selanjutnya dilakukan dengan menerapkan pendekatan spektral penuh (*full spectral analysis*) yaitu dengan mengalikan spektra gelombang yang telah ditentukan dengan kuadrat RAO tegangan yang telah diperoleh dari analisa diatas. Secara matematis hubungan diatas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Spektra gelombang} \times (RAO)^2 = \text{Spektra tegangan} \quad (3.18)$$

Selengkapnya dari analisis ini akan dijelaskan kemudian pada bagian analisis kelelahan struktur *guyed tower*.



## BAB IV

### ANALISA KELELAHAN STRUKTUR GUYED TOWER

Struktur *guyed tower* merupakan struktur yang dirancang khusus untuk laut dalam. Menyadari hal ini, maka faktor keselamatan baik manusia maupun lingkungan dari bahaya yang mungkin ditimbulkan akibat kegagalan struktur harus menjadi agenda penting yang harus dipertimbangkan dalam tahap perancangan.

Pernyataan diatas mengandung arti bahwa kekuatan struktur harus benar-benar diperhatikan oleh perancang. Ada dua parameter utama yang merepresentasikan kekuatan struktur ini yaitu **pertama**, kekuatan struktur untuk menerima dan menahan beban ekstrim (*extreme loading*) yang biasanya diasumsikan terjadi hanya satu kali dalam suatu periode tertentu, misalnya 50 tahunan atau 100 tahunan yang mungkin akan terjadi selama kurun waktu operasi (*design life*) dari struktur tersebut. **Kedua**, kekuatan struktur untuk menerima dan menahan beban siklis (*cyclic loading*) yang terjadi terus-menerus selama kurun waktu operasi struktur.

Kekuatan struktur untuk menerima beban ekstrim sedikit banyak akan proporsional terhadap besarnya beban ekstrim yang diprediksikan akan terjadi selama kurun waktu operasi struktur. Tetapi kekuatan struktur untuk menerima beban siklis akan sedikit berbeda dalam analisisnya. Hal ini karena pada kenyataannya beban siklis yang bekerja dalam hal ini adalah beban gelombang meskipun intensitasnya kecil, bahkan jauh dibawah kekuatan mulur statis dari



struktur, tetapi karena terjadi terus menerus sepanjang waktu, maka hal ini akan berakibat menurunnya kekuatan struktur secara gradual yang kemudian diikuti dengan keretakan dan selanjutnya kepecahan, yang berarti bahwa struktur tersebut telah gagal.

Kegagalan struktur seperti ilustrasi diatas merepresentasikan umur kelelahan yang diperkirakan bisa dicapai struktur dalam menerima beban gelombang. Secara umum ada dua metode (deterministik) yang bisa diterapkan dalam memperkirakan umur kelelahan struktur, yaitu dengan metode analisis spektral penuh (*full spectral analysis*) dan metode analisis yang disederhanakan (*simplified approach*).

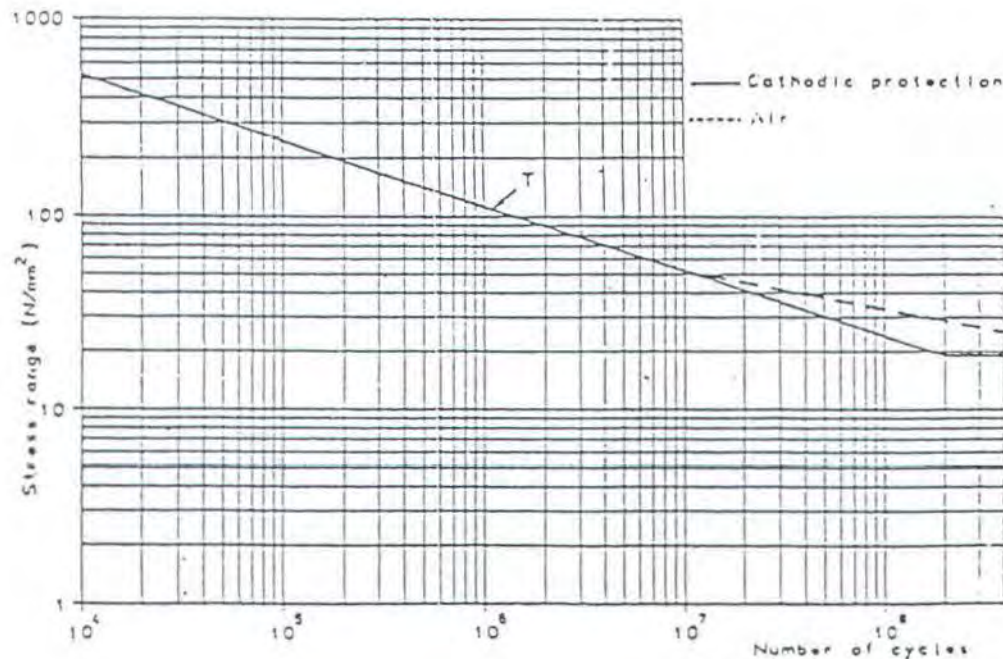
#### 4. 1. ANALISA SPEKTRAL PENUH (FULL SPECTRAL ANALYSIS)

Dalam perancangan struktur dengan sambungan las, pengkajian kelelahan akan dilakukan dengan mengacu pada kurva S-N yang sesuai untuk jenis sambungan tersebut. Kurva S-N, yang umumnya digambarkan dengan koordinat log-log mempunyai kemiringan pada sebagian besar daerah tegangan menengah atau tingginya, seperti dicontohkan oleh Gurney (1976) dalam Gambar 4.1. Kemiringan ini dapat didekati oleh fungsi:

$$NS^m = A \quad S > 0 \quad (4.1)$$

Koefisien kelelahan  $A$  adalah besaran yang diperoleh dari percobaan kelelahan, dan harganya adalah merupakan fungsi dari material, geometri komponen struktur dan jenis pengelasan. Eksponen kelelahan  $m$  adalah harga invers negatif kemiringan kurva log-log S-N. Faktor  $m$  ini dapat diperoleh dari regresi data

percobaan kelelahan bersama dengan  $A$ , ataupun diturunkan secara teoritis dari analisis mekanika kepecahan.



Gambar 4.1. Kurva S-N untuk tipe sambungan tubular

Setelah diperoleh kurva S-N yang sesuai, prosedur analisis kelelahan struktur selanjutnya dilakukan dengan menyusun korelasi antara harga-harga siklus tegangan acak yang sebenarnya terjadi akibat beban gelombang dengan siklus amplitudo tegangan konstan pada kurva S-N. Dengan demikian permasalahan yang harus dipecahkan pada tahapan ini adalah bagaimana korelasi antara kedua data tersebut dapat ditentukan, sehingga secara tepat akan memberikan penyelesaian fungsi kelelahannya.



Dalam memperkirakan umur kelelahan struktur ada beberapa algoritma yang dapat dipakai, diantaranya adalah algoritma *Miner-Palmgren* yang lebih dikenal sebagai hukum kerusakan kumulatif. Dalam hipotesanya, Miner (1945) mengasumsikan bahwa kerusakan kumulatif suatu struktur dapat timbul oleh kontribusi siklus tiap tegangan tertentu dengan amplitudo  $S_i$  dari suatu proses keseluruhan yang bervariasi secara acak, yang selanjutnya mengakibatkan kelelahan dengan proporsi:

$$\partial D_i = \frac{1}{N_i} \quad (4.2)$$

dimana  $N_i$  adalah jumlah siklus dari amplitudo tegangan  $S_i$  yang bervariasi secara sinusoidal yang akan menyebabkan kegagalan struktur. Harga  $N_i$  dalam hal ini diperoleh dari kurva S-N hasil percobaan yang bersesuaian dengan harga amplitudo  $S_i$ .

Kerusakan kumulatif karena kelelahan (direpresentasikan oleh rasio kerusakan,  $D$ ) oleh keseluruhan tegangan acak yang terjadi selama operasi kemudian dapat dihitung dari:

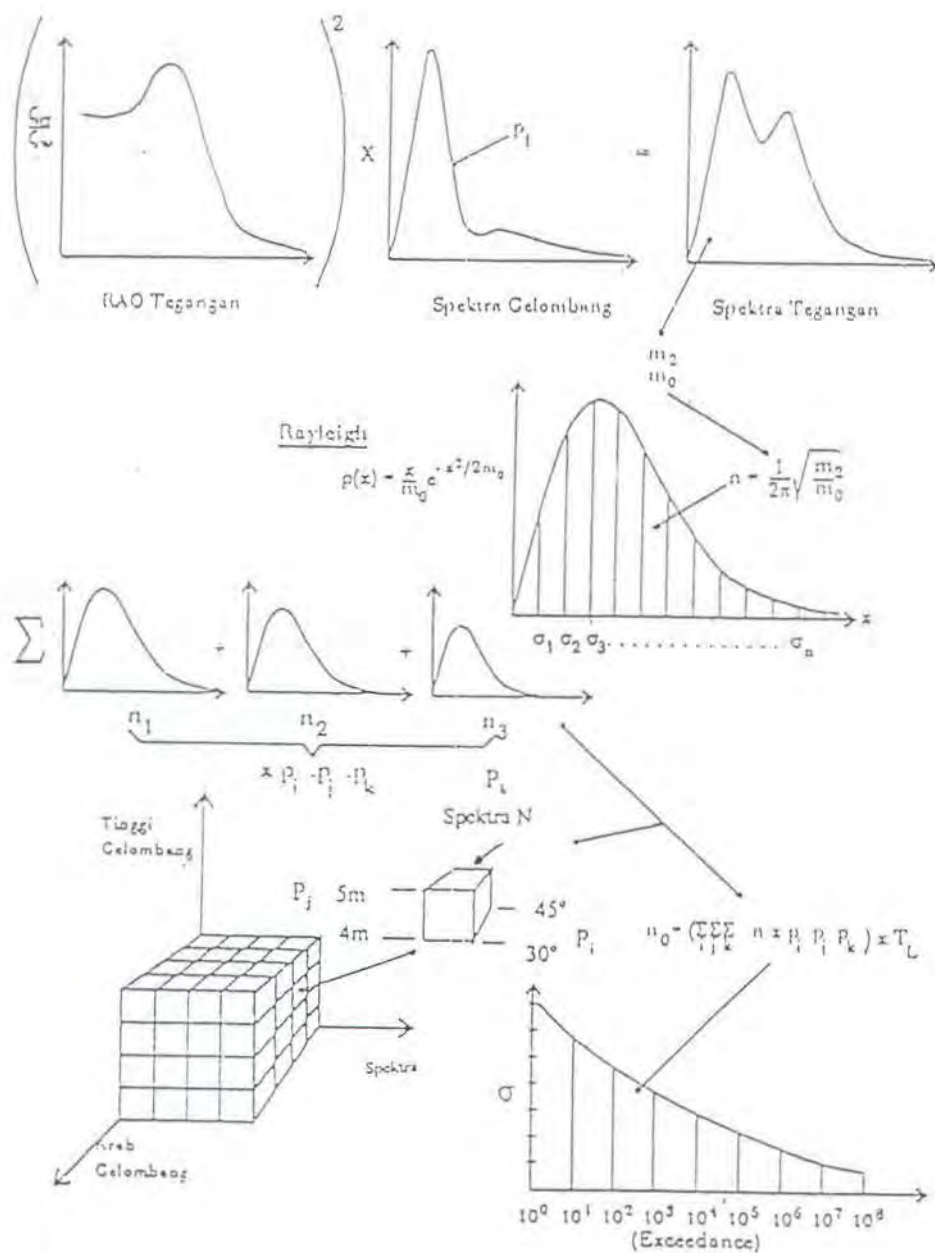
$$D = \sum_{i=1}^b \frac{n_i}{N_i} \quad (4.3)$$

dimana  $n_i$  adalah jumlah siklus tegangan dengan amplitudo  $S_i$  yang sebenarnya terjadi akibat eksitasi beban eksternal pada struktur. Kerusakan keseluruhan tersebut selanjutnya diestimasi dari penjumlahan kontribusi kelelahan oleh tiap-tiap tegangan dalam interval total dari beban  $b$ , selama kurun waktu operasi struktur. Berdasarkan hipotesa ini, kegagalan struktur akan terjadi bilamana hasil perhitungan dengan Persamaan (4.3) adalah sama dengan satu ( $D=1$ ).



Dalam evaluasi kelelahan struktur kapal, jumlah siklus  $n_i$  yang berkaitan dengan rentang tegangan tertentu  $S_i$ , akan diperoleh dari analisa spektrum kurun waktu panjang [Djarmiko, (1994)]. Untuk analisis kelelahan struktur *guyed tower* ini, informasi yang pertama kali harus tersedia adalah fungsi perbandingan respons tegangan (*stress response amplitude operator*-RAO) dari komponen struktur yang akan ditinjau.

Selain itu, informasi lain yang dibutuhkan dalam perhitungan adalah menyangkut data tinggi gelombang signifikan dan periode spesifik, bentuk spektra gelombang dan arah datangnya gelombang. Semua data operasi tersebut diberikan dalam intensitas dan peluang kejadiannya selama kurun waktu operasi struktur (diambil 20 tahun). Data masukan dalam analisis spektra kurun waktu panjang ini dapat ditunjukkan sebagai grafis skenario kotak pengoperasian, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Skenario kotak pengoperasian dan prosedur penurunan distribusi tegangan dengan analisis spektrum kurun waktu panjang [Djarmiko, dkk (1984)].

Dari analisis spektrum seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2, untuk tiap-tiap interval mode operasi, dapatlah dihitung jumlah respons (dalam hal ini adalah rentang tegangan) per satuan waktu ( $n$ ), yaitu:

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \quad (4.4)$$

dimana  $m_0$  dan  $m_2$  masing-masing adalah luasan dan momen luasan bidang bidang dibawah kurva spektra tegangan yang diperoleh dari fungsi transfer dalam kurun waktu pendek.

Dengan menambahkan semua jumlah respons per satuan waktu dari tiap-tiap mode operasi yang telah dikalikan dengan probabilitas kejadian masing-masing komponen mode, dan kemudian mengalikannya dengan jangka waktu operasi  $T_L$ , maka dapat diperoleh jumlah respons total:

$$n_0 = \left( \sum_i \sum_j \sum_k n \times p_i p_j p_k \right) \times T_L \quad (4.5)$$

dimana:  $p_i$  = probabilitas sudut gelombang datang

$p_j$  = probabilitas gabungan terjadinya tinggi gelombang signifikan  $H_s$  dan periode spesifik (didapat dari diagram sebaran gelombang-wave scatter diagram)

$p_k$  = probabilitas kejadian spektrum gelombang karakteristik tertentu.



Dalam kurun waktu panjang, peluang kejadian rentang tegangan dengan harga tertentu dapat dilampaui adalah:

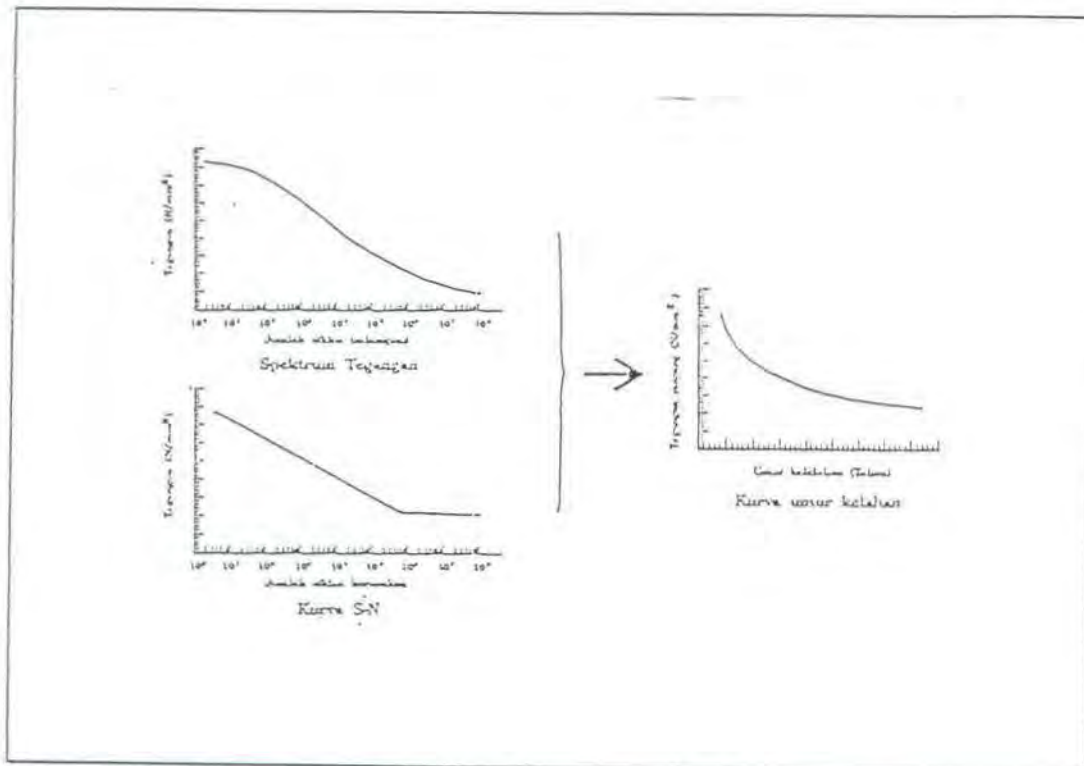
$$P_L(x) = \frac{\sum_i \sum_j \sum_k n \times p_i p_j p_k \times p(x)}{\sum_i \sum_j \sum_k n \times p_i p_j p_k} \quad (4.6)$$

dimana  $x$  adalah harga batasan variabel (tegangan) seperti disyaratkan dalam kriteria yang ditinjau, dan  $p(x)$  adalah probabilitas bahwa  $x$  akan dilampaui dalam kurun waktu pendek yaitu:

$$p(x) = \frac{x}{m_0} e^{-x^2 / 2m_0} \quad (4.7)$$

Perlu dikemukakan disini bahwa fungsi probabilitas pada Persamaan (4.7) menunjukkan bahwa respons acak dalam kurun waktu pendek mempunyai bentuk distribusi *Rayleigh*. Sedangkan dalam kurun waktu panjang, yang merupakan penjumlahan distribusi kurun waktu pendek (Persamaan 4.6), respons akan mempunyai bentuk distribusi *Weibull*.

Dari hasil komputasi diatas, jumlah siklus  $n_i$  dapat diperoleh dengan mengalikan  $n_0$  dari Persamaan (4.5) dengan peluang kejadian setiap harga rentang tegangan  $S_i$  dari Persamaan (4.6). Secara diagramatis, analisis kelelahan dengan metode spektral penuh secara menyeluruh untuk mendapatkan harga rasio kerusakan diberikan dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Skema prediksi deterministik kelelahan struktur

#### 4. 2. ANALISIS DENGAN PENDEKATAN SEDERHANA (SIMPLIFIED APPROACH)

Pada tahap perancangan awal, analisis kelelahan dapat dilakukan dengan menerapkan pendekatan yang disederhanakan atau metode ringkas (*simplified approach*). Dengan pendekatan ini perancang tidak perlu menyelesaikan analisis kelelahan dengan prosedur panjang seperti pada analisis spektral penuh. Beberapa ahli telah mengkaji ketelitian metode sederhana ini, dan menganggap penerapannya dalam perancangan awal cukup valid.

Dalam pendekatan sederhana ini, spektra lautan dan distribusi tegangan acak yang terjadi serta akumulasi kerusakan telah diformulasikan dalam suatu fungsi tunggal. Penurunan dari formulasi tunggal tersebut adalah sebagai berikut.

Bila  $p(S)$  adalah merupakan fungsi kepadatan peluang tegangan yang dapat didefinisikan sedemikian rupa sehingga  $p(S)dS$  adalah ekuivalen dengan jumlah osilasi komponen tegangan dengan harga-harga puncak yang berada dalam interval  $dS$  dan mempunyai harga rata-rata  $S_I$ . Selanjutnya dengan mengambil  $f$  dan  $T$  masing-masing sebagai frekuensi rata-rata dari tegangan yang bervariasi secara acak dan kurun waktu kerja, maka pertambahan kerusakan yang diakibatkan oleh osilasi tegangan dengan amplitudo  $S_I$  yang terjadi dalam interval waktu  $T$  adalah:

$$dD = \frac{T f p(S_I) dS}{N(S_I)} \quad (4.8)$$

$N(S_I)$  dalam hal ini adalah merupakan jumlah siklus yang akan mengakibatkan kerusakan (terbentuknya retak awal) pada level tegangan  $S_I$ , yang diperoleh dari kurva S-N. Integrasi dari Persamaan (4.8) diatas akan memberikan besarnya kerusakan total yang diharapkan terjadi dalam waktu  $T$  (*expected total damage*) oleh kontribusi keseluruhan tegangan dalam proses sebesar:

$$E(D) = T f \int_0^{\infty} \frac{p(S) dS}{N(S)} \quad (4.9)$$

atau, dengan memasukkan jumlah siklus total yang sebenarnya  $n_0$ , dan menggantikan  $N(S)$  dengan  $A$  dan  $S^m$  seperti dalam Persamaan (4.1) maka Persamaan (4.9) diatas menjadi:

$$E(D) = \frac{n_0}{A} \int_0^{\infty} S^m p(S) dS \quad (4.10)$$

Metode sederhana ini telah diturunkan bersama dengan pengolahan data distribusi gelombang dan respons struktur kurun waktu panjang dalam jumlah besar. Dari



data yang terkumpul diperoleh bahwa secara umum distribusi beban ataupun respons struktur dapat direpresentasikan dengan distribusi *Weibull* dua parameter sebagai berikut:

$$p(S) = \frac{\xi}{\lambda} \left( \frac{S}{\lambda} \right)^{\xi-1} \exp \left[ - \left( \frac{S}{\lambda} \right)^{\xi} \right] \quad (4.11)$$

dimana  $\lambda$  dan  $\xi$  masing-masing adalah parameter skala dan parameter bentuk distribusi yang besarnya tergantung dari respon struktur terhadap beban lingkungan.

Bila diambil  $S_e$  sebagai tegangan ekstrim yang diharapkan akan terjadi sekali dalam siklus respons keseluruhan  $n_0$ , maka hubungan kedua parameter tersebut adalah:

$$\lambda = S_e (\ln n_0)^{-1/\xi} \quad (4.12)$$

Dengan memasukkan Persamaan (4.11) kedalam Persamaan (4.10), maka kerusakan yang diharapkan terjadi adalah:

$$D = \frac{n_0}{A} \int_0^{\infty} S^m \frac{\xi}{\lambda} \left( \frac{S}{\lambda} \right)^{\xi-1} \exp \left[ - \left( \frac{S}{\lambda} \right)^{\xi} \right] dS \quad (4.13)$$

Dengan melakukan manipulasi matematis, ekspresi integral diatas dapat digantikan dengan fungsi gamma  $\Gamma(x)$ , sehingga Persamaan (4.13) bisa dituliskan dalam bentuk yang lebih sederhana [Almar-Naes (1985)]:

$$D = \frac{n_0}{A} \frac{S_e^m}{(\ln n_0)^{m/\xi}} \Gamma \left( \frac{m}{\xi} + 1 \right) \quad (4.14)$$

Dalam banyak hal, prediksi kelelahan dengan pendekatan sederhana ini akan sangat menguntungkan bagi perancang. Penerapan metode ini menjadikan prediksi dapat dilakukan dengan cepat (meskipun dengan perhitungan manual),

jadi sangat tepat bila digunakan dalam tinjauan sensitivitas, yang banyak memerlukan perubahan-perubahan parameter. Namun demikian, satu masalah penting harus benar-benar dipahami terlebih dahulu sebelum menerapkan metode pendekatan sederhana ini.

Dalam Persamaan (4.14) diatas jelas terlihat bahwa rasio kerusakan adalah merupakan fungsi dari variabel-variabel: jumlah total siklus beban  $n_0$ , harga karakteristik data kurva S-N yang diambil yaitu  $m$  dan  $A$ , rentang tegangan ekstrem  $Se$ , dan parameter bentuk dari distribusi *Weibull* tegangan  $\xi$ . Diantara variabel-variabel ini, parameter  $\xi$  adalah merupakan variabel yang paling sulit penentuannya, terutama untuk struktur jenis baru seperti *guyed tower*, dimana informasi detail dari struktur ini sangat langka.

Sebagai informasi dan data pembandingan, Munse *et al* (1983) menyarankan untuk mencoba beberapa harga  $\xi$  pendekatan untuk diambil dalam analisis kelelahan. Untuk kapal-kapal besar, parameter  $\xi$  berkisar antara 0,7-1,0. Sedangkan untuk kapal-kapal yang lebih kecil biasanya  $\xi$  adalah sekitar 1,0-1,3. Pendapat yang kurang lebih serupa juga diajukan oleh Nordenstrom (1973) yaitu bahwa parameter bentuk distribusi *Weibull* dalam kurun waktu panjang dapat diaproksimasi dengan harga kurang lebih sama dengan satu ( $\xi=1,0$ ) atau kira-kira mendekati bentuk distribusi eksponensial.

Permasalahan yang timbul kemudian adalah berapakah harga parameter  $\xi$  yang bisa digunakan untuk analisis kelelahan bangunan lepas pantai, dalam hal ini *guyed tower*, dimana informasi yang memadai tentang hal terkait sangat jarang



dijumpai. Dalam ketiadaan informasi seperti ini, akan sangat menarik dilakukan eksplorasi parameter *Weibull* yang sesuai untuk struktur *guyed tower*.

Memakai data distribusi beban (atau tegangan) selama umur operasi bersama-sama dengan data lainnya, komputasi iteratif kemudian dilakukan dengan menggunakan Persamaan (4.14) dengan memasukkan harga awal  $\xi$ , sampai akhirnya diperoleh harga  $\xi$  yang ekuivalen dengan hasil perhitungan dari formulasi *Miner*. Setelah diperoleh harga  $\xi$  hasil iterasi dengan prosedur diatas, evaluasi sensitivitas dengan variabel harga  $\xi$  kemudian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kontribusi parameter ini terhadap penambahan atau pengurangan umur kelelahan struktur *guyed tower*.

Salah satu kemudahan yang didapat dengan menerapkan ekspresi eksplisit rasio kerusakan  $D$  dalam Persamaan (4.14) adalah, bila harga  $\xi$  telah diperoleh maka tegangan ekstrim ijin untuk untuk setiap bagian struktur akan dapat dihitung dengan singkat [Munse *et al*, (1983)] dengan persamaan:

$$S_{ea} = \left[ \frac{A\delta}{n_0 \Gamma(m/\xi + 1)} \right]^{1/m} (\ln n_0)^{1/\xi} \quad (4.15)$$

Dalam persamaan diatas, notasi  $\delta$  yaitu indeks kerusakan, diambil sebagai pengganti notasi rasio kerusakan  $D$ . Harga  $\delta$  dalam hal ini dapat bervariasi antara 0 dan 1, tergantung dari persyaratan perancangan, sehingga tidak perlu harus sama dengan 1 seperti harga  $D$ .



## **BAB V**

### **KEANDALAN STRUKTUR GUYED TOWER TERHADAP KELELAHAN**

Untuk mengetahui faktor kekuatan suatu struktur, baik dalam menerima beban ekstrim maupun siklis selama kurun waktu tertentu, kebanyakan perancang secara tradisional masih menggunakan konsep angka keamanan (*safety factor*). Dalam batas-batas tertentu, konsep ini masih bisa diterima terutama dari aspek teknis, karena dengan mengadopsi konsep tersebut, struktur dirancang untuk lebih kuat daripada beban yang sebenarnya terjadi dengan cara mengalikan faktor kekuatan perancangan dengan angka keamanan tadi. Akan tetapi untuk perancangan yang juga mempertimbangkan aspek ekonomis, sebaiknya perancang perlu mengkaji ulang untuk menerapkan konsep ini.

Dasar pemikiran dari konsep diatas sebenarnya bersumber dari adanya ketidakpastian (*uncertainty*) baik dari efek beban maupun kekuatan struktur. Thoft-Christensen and Baker (1982) membagi ketidakpastian ini menjadi tiga bagian yaitu: 1). Ketidakpastian fisik yang berkaitan dengan variabilitas baik dari efek beban seperti beban yang bersifat acak, maupun dari dimensi struktur itu sendiri. 2). Ketidakpastian statistik yang berhubungan erat dengan pengolahan data yang dipakai untuk membuat model probabilistik dari berbagai keragaman fisik diatas, seperti rentangan, harga rata-rata maupun simpangan baku dari besaran tertentu. 3). Ketidakpastian model, yaitu yang berhubungan dengan respon

struktur yang dimodelkan secara matematis, yang disitu banyak terdapat asumsi-asumsi dan kondisi batas.

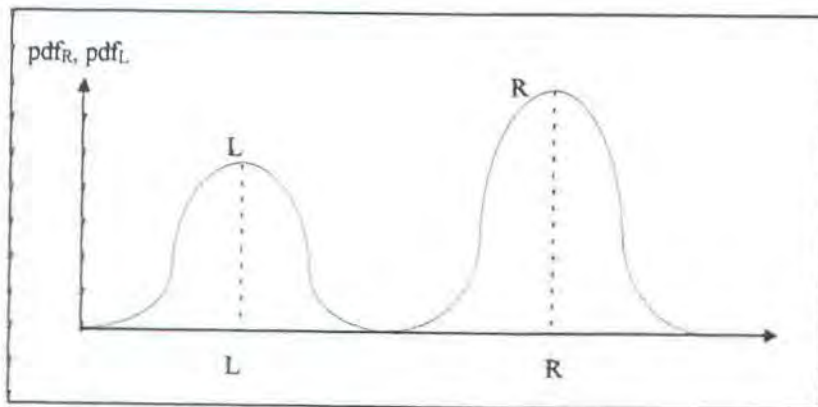
Adanya ketidaktentuan-ketidaktentuan diatas akan menyebabkan adanya peluang kegagalan (dan tentu saja, peluang keberhasilan) sebuah sistem rekayasa. Untuk mengakomodasi hal tersebut, dewasa ini telah diterapkan suatu pendekatan yang secara jelas memasukkan sebaran atau variabilitas pada besaran-besaran desain ke dalam perhitungan. Pendekatan ini lebih dikenal sebagai konsep keandalan dan resiko (*reliability and risk concept*). Perlu disadari bahwa meskipun konsep ini juga berbasis pada ketidaktentuan (*uncertainty*), tetapi bila dibandingkan dengan konsep yang pertama, maka pertimbangan peluang dalam kerangka rekayasa keandalan akan memberikan basis yang lebih rasional untuk mengakomodasi ketidakpastian ini [Rosyid D. M. (1996)].

Keandalan berarti sebuah pernyataan tentang besarnya peluang sebuah peralatan atau sistem untuk bekerja tanpa mengalami kegagalan dalam suatu kurun waktu dan lingkungan tertentu. Untuk memahami hal tersebut sampai pada tingkat yang memungkinkan aplikasinya menjadi lebih mudah, maka beberapa konsep berikut ini terlebih dahulu perlu dibahas.

## 5. 1. MARGIN KESELAMATAN

Pada perancangan struktur,  $R$  adalah merupakan notasi untuk kekuatan (*resistance*), dan  $L$  adalah untuk beban (*load*). Apabila dapat diasumsikan bahwa sebuah komponen, perangkat atau sistem memiliki kekuatan yang terdistribusikan mengikuti suatu fungsi kerapatan peluang (*probability density function*)  $pdf_R$ , dan

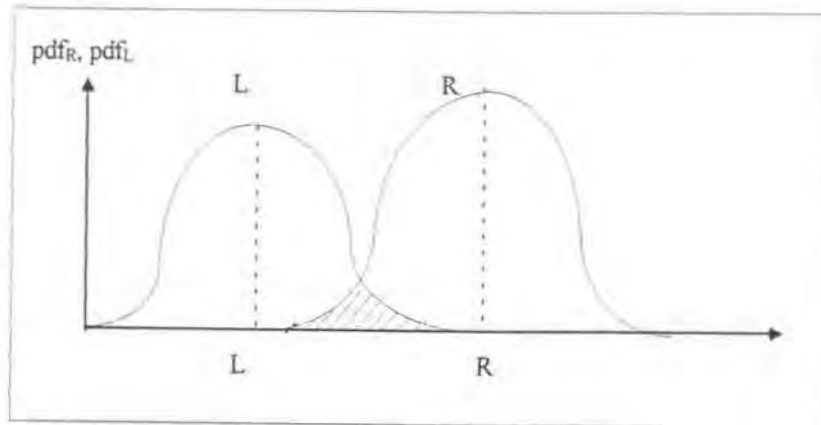
efek pembebanan yang juga terdistribusi menurut  $pdf_L$ , maka mudah dipahami bahwa apabila  $pdf_R$  terpisah sama sekali dengan  $pdf_L$ , secara teoritis komponen tersebut memiliki keandalan 1, yaitu tidak akan pernah gagal. Ini dilukiskan dalam Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Diagram interferensi dengan kedua  $pdf$  yang terpisah

Apabila kedua  $pdf$  memiliki bagian yang berhimpitan, maka peluang terjadinya kegagalan pada komponen tidak lagi nol. Ini ditunjukkan pada daerah yang diarsir pada Gambar 5.2, sebagai suatu indikasi bahwa suatu ketika akan terjadi sebuah kejadian dimana efek beban  $L$  melebihi kekuatan komponen  $R$ , yaitu terjadinya kegagalan.





Gambar 5.2. Diagram interferensi dengan interferensi cukup berarti.

Sebuah teknik yang sudah mapan dalam konsep diagram interferensi ini adalah pemakaian parameter baru yang disebut margin keselamatan (*safety margin*). Margin keselamatan ini dinyatakan sebagai berikut:

$$MK = \frac{R - L}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_L^2}} \quad (5.1)$$

Lebih lanjut, Mansour (1990) menyatakan bahwa dalam konsep keandalan, suatu masalah akan didefinisikan dalam hubungan permintaan dan penyediaan, yang keduanya merupakan variabel-variabel acak. Peluang terjadinya kegagalan ( $P_f$ ) suatu sistem, dimana penyediaan (dalam hal ini adalah ketahanan atau kekuatan sistem) tidak dapat memenuhi permintaan (yaitu beban yang bekerja pada sistem) dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$P_f = P(R < L) \quad (5.2)$$

atau, bila ingin diketahui tingkat keselamatan (keandalannya) maka korelasi diatas dapat dituliskan sebagai:

$$\text{Keselamatan} = P(R > L) = 1 - P_f \quad (5.3)$$

Karena kedua variabel, yaitu kekuatan dan beban adalah bersifat acak, maka variabel ambang keselamatan  $Z$  juga akan bersifat acak. Dengan begitu

keselamatan menjadi tidak hanya bergantung kepada harga *mean* dari ambang keselamatan  $Z$ , yang merupakan jarak antara harga-harga mean dari kekuatan  $R$  dan beban  $L$ , tetapi juga pada koefisien variasinya ( $COV$ ). Bila koefisien variasi dari  $Z$  ( $COV_Z$ ) cukup besar maka derajat keselamatan struktur akan berkurang, demikian sebaliknya. Dengan mengganti beberapa notasi yang bersesuaian, maka peluang kegagalan diatas bisa ditulis kembali sebagai:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (5.4)$$

dimana  $\Phi(-\beta)$  adalah fungsi kumulatif peluang normal yang harganya dapat dilihat pada Tabel distribusi kumulatif normal.

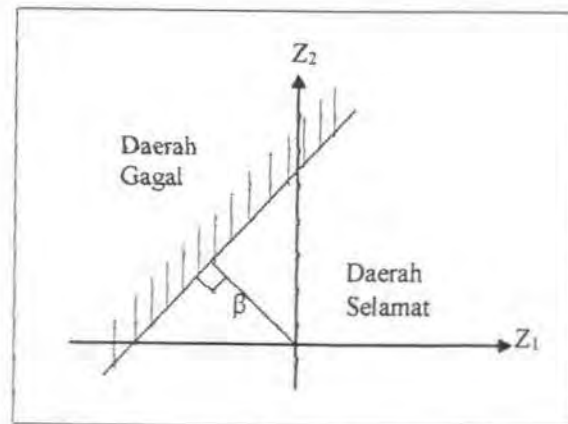
## 5. 2. ANALISIS KEANDALAN DENGAN METODE ADVANCED FIRST ORDER SECOND MOMENT (AFOSM)

Metode ini diajukan oleh Hasofer and Lind (1974) untuk memberikan jawaban atas beberapa persoalan yang ditemui dalam analisis keandalan. Beberapa persoalan tersebut semuanya bermuara pada inkonsistensi  $\beta$ . Katakan untuk moda kegagalan yang sama, tetapi fungsi kinerjanya ditulis secara berbeda (namun secara matematis ekuivalen), maka akan didapatkan harga indeks keandalan  $\beta$  yang berbeda.

Metode AFOSM dikembangkan berdasarkan interpretasi geometri atas fungsi kinerja sistem yang linier. Apabila semua perubah dasar  $X$  ditransformasikan menjadi perubah dasar baku  $Z$  melalui transformasi berikut:

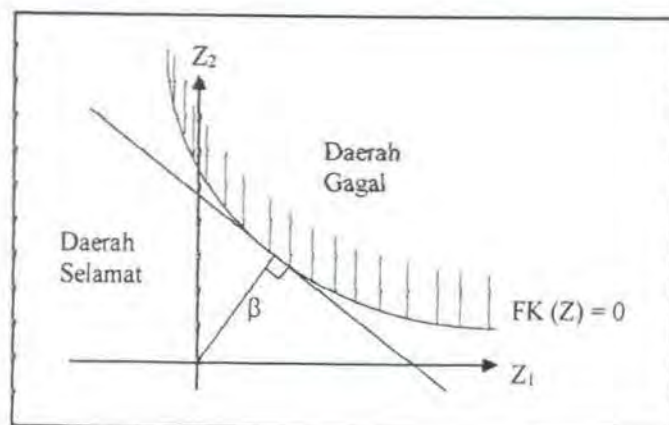
$$Z_i = \frac{X_i - \mu_{X_i}}{\sigma_{X_i}} \quad (5.5)$$

maka indeks keandalan  $\beta$  adalah jarak terdekat dari titik origin O ke bidang kegagalan untuk  $FK(X) = 0$ . Interpretasi ini dipakai untuk menentukan titik linierisasi untuk fungsi kinerja  $FK(X)$  non-linier. Melalui transformasi dengan Persamaan (5.5),  $\mu_{X_i}$  dipetakan ke titik O dalam ruang perubah acak baku  $Z$ .



Gambar 5.3. Interpretasi geometri indeks keandalan  $\beta$

Selanjutnya, indeks keandalan  $\beta$  untuk bidang kegagalan  $FK(X)$  non-linier adalah jarak terdekat dari sebuah bidang singgung atas bidang kegagalan  $FK(Z)$  ke titik origin O. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4. Indeks Keandalan untuk fungsi kinerja non-linier



Relasi dalam Persamaan (5.4) juga berlaku untuk Indeks Keandalan  $\beta$  menurut Hasofer dan Lind ini, apabila semua perubah dasar  $X$  terdistribusi secara normal. Perhitungan untuk menentukan  $\beta$  apabila FK ( $X$ ) non-linier harus dilakukan secara iteratif.

Apabila didefinisikan sebuah vektor normal satuan  $\alpha$  yang tegak lurus terhadap bidang singgung di titik A pada bidang kegagalan FK ( $Z$ ) = 0, maka jarak dari titik O ke A adalah  $\beta\alpha$ , dan  $Z_i = \beta\alpha_i$ . Dalam ruang umum berdimensi  $n$ , maka  $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ , dan indeks keandalan  $\beta$  adalah jarak yang ditentukan dengan menyelesaikan  $n+1$  persamaan berikut:

$$FK(\beta\alpha_1, \beta\alpha_2, \dots, \beta\alpha_n) = 0 \quad (5.5)$$

$$\alpha_i = -\frac{1}{k} \frac{\partial(FK)}{\partial z_i}(\beta\alpha), \quad i = 1, \dots, n \quad (5.6)$$

dimana  $k$  adalah resultan panjang vektor satuan  $\alpha$  yang dipakai sebagai pembagi untuk memperoleh vektor satuan pada arah  $z_i$  dan  $n$  adalah jumlah perubah dasar. Konstanta  $k$  dihitung dengan formulasi sebagai berikut:

$$k = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial(FK)}{\partial z_i}(\beta\alpha) \right)^2} \quad (5.7)$$

### 5. 3. FORMULASI AMBANG KESELAMATAN OLEH KELELAHAN

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa dalam analisis kelelahan secara deterministik, kerusakan akibat kelelahan adalah merupakan fungsi dari persamaan kurva S-N, jumlah siklus beban, parameter bentuk distribusi Weibull

tegangan, serta rentang tegangan ekstremnya. Faktor-faktor penentu ini terangkum dalam satu persamaan ringkas (lihat Persamaan 4.14). Dalam perancangan praktis, rasio kerusakan ini akan digantikan oleh indeks kerusakan, sebagai kriteria yang harus dipenuhi.

Berdasarkan konsep diatas, dalam analisis keandalan terhadap kelelahan struktur, ambang keselamatan dapat diformulasikan sebagai fungsi korelasi antara indeks kerusakan  $\Delta$  dan rasio kerusakan  $D$ , yang keduanya adalah merupakan variabel acak:

$$Z_f = \Delta - D \quad (5.8)$$

sehingga fungsi kinerja sistem untuk moda kegagalan akibat kelelahan bisa ditulis sebagai:

$$Z_f = \Delta - \frac{n_0}{A} \frac{S_e^m}{(\ln n_0)^{m/\xi}} \Gamma\left(\frac{m}{\xi} + 1\right) \quad (5.9)$$

## BAB VI

### ANALISA DAN DISKUSI

Pada bagian ini seluruh analisa yang dibutuhkan mulai dari analisa perilaku struktur *guyed tower*, analisa kelelahan dan kemudian analisa keandalan terhadap kelelahan akan diuraikan dengan mengambil data sampel struktur *guyed tower* dari berbagai literatur yang ada.

#### 6. 1. IDENTIFIKASI BAGIAN STRUKTUR YANG RENTAN TERHADAP KELELAHAN

Sebagaimana telah diterangkan sebelumnya bahwa struktur *guyed tower* adalah merupakan struktur bangunan lepas pantai yang relatif baru dan dirancang khusus untuk kedalaman laut tertentu. Dalam banyak hal struktur *guyed tower* berbeda dengan dengan struktur jacket konvensional. Finn L. D. dan Young K. E. (1978) menyatakan perbedaan tersebut dalam dua hal pokok. *Pertama*, kalau jacket konvensional menggunakan tiang pancang (*pile*) untuk mengakomodasi beban gelombang dan beban akibat gaya gravitasi, maka struktur *guyed tower* menggunakan sistem penambat (*guylines and clump weight system*) untuk mengakomodasi beban lateral akibat gelombang dan pondasi *spud can* untuk menyalurkan beban akibat gaya gravitasi ke tanah. *Kedua*, karena bentuk konfigurasi struktur yang spesifik, maka *guyed tower* mempunyai periode natural yang besar (dalam beberapa kondisi bisa lebih besar dari periode gelombang dengan energi yang signifikan). Hal ini menyebabkan gaya inersia struktur selalu



berlawanan arah dengan gaya gelombang yang pada akhirnya akan mengurangi gaya total yang bekerja pada struktur.

Perbedaan diatas tentunya akan membawa beberapa implikasi, terutama pada analisis respon struktur terhadap beban gelombang. Analisa struktur dengan menggunakan fasilitas program SAP90 telah dilakukan untuk mengetahui perilaku alami (*natural behaviour*) struktur. Model analisis seperti yang telah dibahas sebelumnya serta beberapa kondisi batas dan asumsi juga telah digunakan untuk menyederhanakan perhitungan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa periode natural struktur, yaitu yang bersesuaian dengan periode mode gerakan *sway* (*sway period*) adalah 13,12 detik. Harga ini adalah lebih besar jika dibandingkan dengan periode gelombang dengan jumlah kejadian (*cycle*) yang terbesar yaitu berkisar antara 6-12 detik. Dengan demikian gaya total yang bekerja pada struktur akan lebih kecil bila dibandingkan dengan jacket konvensional untuk kedalaman laut yang sama, karena dengan harga periode natural yang tinggi, maka gaya inersia struktur akan selalu berlawanan dengan arah gaya gelombang [Finn L. D. and Young K. E. (1978)].

Mode gerakan *sway* merepresentasikan perilaku *guyed tower* sebagai benda tegar (*rigid*) dengan tumpuan engsel (*pin*) pada pondasinya. Pada mode ini, kondisi kritis akan dialami oleh pondasi tower yang mengalami *overturning moment* yang besar. Dengan demikian mode gerakan ini sangat cocok digunakan untuk analisis respon maksimum struktur terhadap beban luar yang bekerja.

Mode kedua yang juga penting untuk analisa respon struktur *guyed tower* adalah *flexural mode*. Berbeda dengan mode gerakan yang pertama, maka mode ini mengidealisasikan struktur *guyed tower* sebagai struktur lentur yang

menggunakan tumpuan engsel (*pin*) pada kedua ujungnya yaitu pada pondasi struktur dan *guy node*. Periode yang dihasilkan dari analisis untuk mode ini adalah sebesar 7,1 detik. Melihat harga ini, maka hampir bisa dipastikan bahwa resonansi gerakan struktur dengan gelombang akan banyak terjadi pada mode ini. Dengan demikian mode ini sangat cocok dijadikan sebagai dasar analisis kelelahan struktur *guyed tower*.

Melihat kembali perilaku struktur *guyed tower* dalam *flexural mode* diatas, maka yang paling banyak menahan beban gelombang adalah *guylines system*, sedangkan reaksi pondasi adalah kecil dan bagian struktur yang paling banyak bergetar adalah pada bagian tengahnya. Hal ini paling tidak senada dengan Nair D. dan Duval P. S. (1982) yang menyatakan bahwa, karena kelelahan disebabkan oleh gelombang-gelombang pendek dengan periode yang kecil, maka mode ini menjadi sangat penting dalam analisis kelelahan struktur *guyed tower*.

## **6. 2. PERILAKU KELELAHAN STRUKTUR GUYED TOWER**

Setelah bagian struktur yang rentan terhadap kelelahan teridentifikasi, (meskipun hanya sampai pada tahapan prediksi), selanjutnya analisis kelelahan dapat dilakukan pada lokasi tersebut. Hal ini semata-mata karena analisis kelelahan tidak ekonomis bila dilakukan pada seluruh bagian struktur.

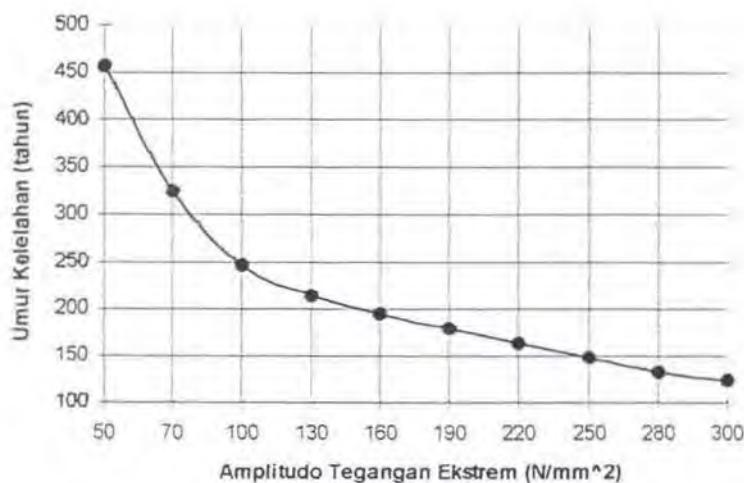
### **6. 2. 1. Perhitungan Umur Kelelahan**

Analisis kelelahan dilakukan dengan menerapkan dua metode seperti yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu metode spektral penuh (*full spectral analysis*)



dan metode pendekatan yang disederhanakan (*simplified approach*). Berdasarkan data gelombang yang ada, gaya total yang bekerja pada struktur dihitung dengan menggunakan formulasi yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu dengan menggunakan formulasi Morison, dimana kecepatan dan percepatan partikel air dihitung dengan menggunakan teori gelombang linier.

RAO tegangan yang diperoleh selanjutnya dipakai bersama-sama dengan spektra gelombang 2-parameter sebagai data dalam analisis spektral penuh. Selanjutnya hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan data dari kurva S-N yang bersesuaian. Harga  $N_i$  untuk tiap-tiap rentang tegangan  $S_i$  yang diperoleh dari kurva S-N kemudian dimasukkan kedalam Persamaan (4.3). Hasil perhitungan dengan menggunakan hukum Miner menunjukkan bahwa umur kelelahan struktur *guyed tower* yang berkorelasi dengan rentang tegangan ekstrem  $270 \text{ N/mm}^2$  dapat mencapai kurang lebih 133 tahun. Hasil selengkapnya dari perhitungan umur kelelahan dengan menggunakan hukum Miner bisa dilihat pada Tabel 6.1.



Gambar 6.1. Umur kelelahan struktur *guyed tower* sebagai fungsi amplitudo tegangan ekstrem.



Selanjutnya dengan memvariasikan harga tegangan ekstrem yang akan terlampaui selama umur operasi, maka dengan hukum Miner akan ditemukan umur kelelahan sebagai fungsi tegangan ekstrem seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.1.

Tabel 6.1. Hasil perhitungan umur kelelahan kumulatif dengan menggunakan hukum Miner.

S	ni	Ni	ni/Ni
9,33	67346648,12	1777286807,58	0,0378930
18,67	4455821,68	222160850,95	0,0200567
28,00	1107424,14	65825437,32	0,0168237
37,33	395377,52	27770106,37	0,0142375
46,67	173384,26	14218294,46	0,0121944
56,00	84600,64	8228179,66	0,0102818
65,33	44632,07	5181594,19	0,0086136
74,67	24696,60	3471263,30	0,0071146
84,00	14067,14	2437979,16	0,0057700
93,33	8161,00	1777286,81	0,0045918
102,67	4776,90	1335301,88	0,0035774
112,00	2792,96	1028522,46	0,0027155
121,33	1615,83	808960,77	0,0019974
130,67	917,81	647699,27	0,0014170
140,00	508,86	526603,50	0,0009663
149,33	274,23	433907,91	0,0006320
158,67	143,22	361751,84	0,0003959
168,00	72,33	304747,39	0,0002374
177,33	35,27	259117,48	0,0001361
186,67	16,59	222160,85	0,0000747
196,00	7,52	191910,90	0,0000392
205,33	3,28	166912,74	0,0000196
214,67	1,38	146074,37	0,0000094
224,00	0,56	128565,31	0,0000043
233,33	0,22	113746,36	0,0000019
242,67	0,08	101120,10	0,0000008
252,00	0,03	90295,52	0,0000003
261,33	0,01	80962,41	0,0000001
270,67	0,00	72872,48	0,0000000
280,00	0,00	65825,44	0,0000000
<i>D</i> =			0,149802603
<i>Umur kelelahan (Tahun)</i> =			133,5090284

### 6. 2. 2. Tegangan Ekstrem Ijin

Tegangan ekstrem ijin diturunkan untuk memberikan cadangan kekuatan yang cukup pada struktur sebelum terjadinya keretakan yang bisa menyebabkan kepecahan. Dalam kasus ini tegangan ekstrem ijin dihitung dengan menggunakan Persamaan (4.15) dengan mengambil harga  $\delta = 1,0$  dan harga variabel  $\xi = 0,976$  yang merupakan parameter distribusi tegangan selama umur struktur. Sedangkan variabel yang lain tetap seperti sebelumnya.

Perhitungan ini menghasilkan rentang tegangan ijin untuk periode operasi 20 tahun sebesar  $280 \text{ N/mm}^2$ . Evaluasi terhadap harga tegangan ijin yang didapat ini terpaksa tidak bisa dilakukan, karena tidak adanya data pembandingan dari struktur sejenis maupun persyaratan dari kode-kode tertentu.

### 6. 2. 3. Evaluasi Sensitivitas

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa satu dari sejumlah faktor yang mempengaruhi ketelitian hasil prediksi kelelahan adalah ketepatan perancang dalam menentukan harga parameter bentuk *Weibull* dari distribusi tegangan,  $\xi$ . Untuk memperoleh gambaran yang jelas tentang sejauh mana pengaruh parameter ini terhadap umur kelelahan struktur, suatu evaluasi sensitivitas telah dilakukan pada struktur *guyed tower*. Dalam evaluasi ini diambil harga rentang tegangan ekstrem sebesar  $280 \text{ N/mm}^2$  serta siklus beban sepanjang umur struktur sebesar  $7,37 \times 10^7$ . Parameter  $\xi$  dievaluasi antara 0,896 sampai 1,066 dengan  $\xi = 0,976$



diambil sebagai harga referensi, yaitu yang akan menghasilkan umur kelelahan selama 20 tahun. Hasil evaluasi selengkapnya bisa dilihat pada Tabel 6.2.

Tabel 6.2. Pengaruh perubahan harga  $\xi$  terhadap umur kelelahan struktur *guyed tower*

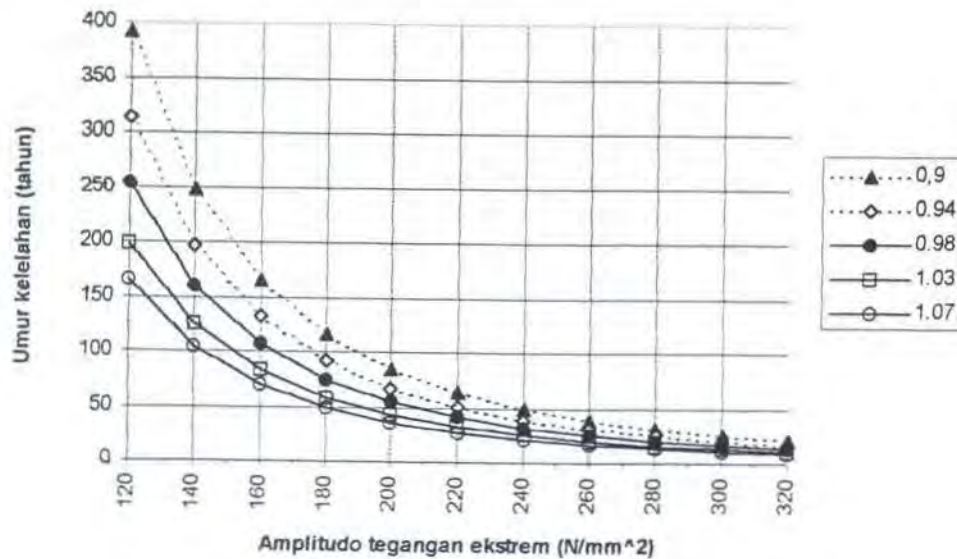
Se=280 N/mm <sup>2</sup> ; n <sub>0</sub> =7,37x10 <sup>7</sup>		
Parameter Bentuk ( $\xi$ )	Umur Kelelahan (Tahun)	Sensitivitas (%)
0,896	30,88963	54,4311
0,906	29,16783	45,8231
0,916	27,56701	37,8199
0,926	26,07715	30,3714
0,936	24,68917	23,4322
0,946	23,39482	16,9612
0,956	22,18664	10,9209
0,966	21,05783	5,2775
<b>0,976</b>	<b>20,00221</b>	<b>0,0000</b>
0,986	19,01415	4,9398
0,996	18,08851	9,5675
1,006	17,22060	13,9065
1,016	16,40614	17,9784
1,026	15,64121	21,8026
1,036	14,92221	25,3972
1,046	14,24585	28,7786
1,056	13,60912	31,9619
1,066	13,00924	34,9610

Dari Tabel 6.2. diatas dapat dilihat bahwa prediksi umur kelelahan struktur *guyed tower* sangat tergantung pada ketepatan pengambilan harga parameter bentuk distribusi *Weibull*  $\xi$ . Perubahan harga  $\xi$  yang kecil saja telah memberikan perbedaan umur kelelahan yang relatif signifikan. Untuk perubahan  $\xi$  sebesar kurang lebih 10% saja akan dapat mengakibatkan perubahan umur kelelahan antara 35% sampai dengan 55%.

Untuk melengkapi informasi tentang sensitivitas umur kelelahan struktur *guyed tower* terhadap parameter  $\xi$  ini, maka pada Gambar 6.2. berikut akan



diberikan juga prediksi umur kelelahan sebagai fungsi harga rentang tegangan untuk beberapa harga  $\xi$ .



Gambar 6.2. Pengaruh perubahan parameter bentuk  $\xi$  terhadap umur kelelahan struktur *guyed tower* sebagai fungsi tegangan ekstrem.

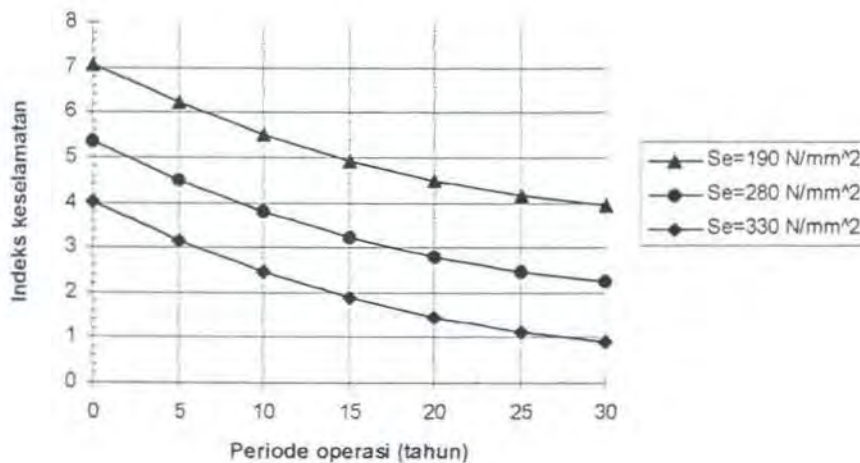
### 6. 3. KEANDALAN STRUKTUR GUYED TOWER TERHADAP KELELAHAN

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh intensitas tegangan ekstrem terhadap peluang kegagalan struktur, maka analisis keandalan *struktur guyed tower* telah dilakukan dengan memvariasikan harga rentang tegangan ekstrem. Namun demikian harga tegangan ekstrem yang telah diperoleh dari prediksi deterministik harus diperhatikan sebagai data pembandingan untuk dapat mengevaluasi akurasi kedua metode yang telah digunakan dalam prediksi kelelahan struktur *guyed tower*. Tabel 6.3. berikut ini memberikan sejumlah data variabel penentu dalam analisis keandalan.

Tabel 6.3. Data statistik penentu untuk analisis keandalan.

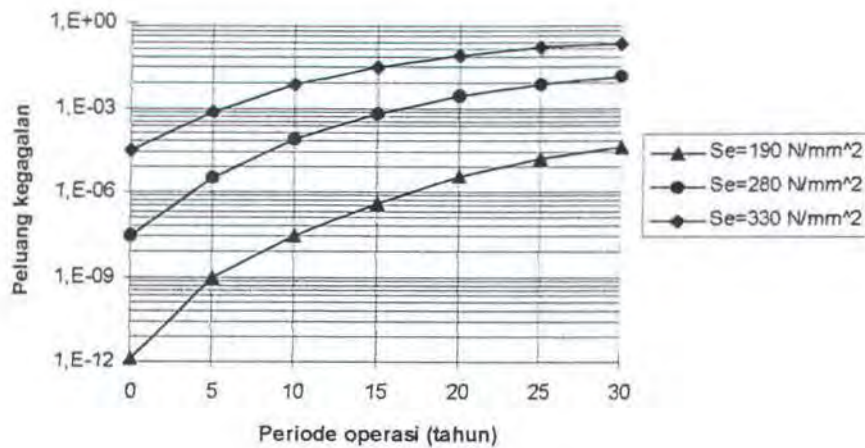
Variabel	Mean	COV	Tipe Distribusi
$m$	3,0	0,03	Normal
$D$	1,0	0,50	Log-Normal
$D$	1,0	0,50	Log-Normal
$no$	$7,37 \times 10^7$	0,05	Log-Normal
$A$	$1,45 \times 10^{12}$	0,31	Log-Normal
$Se$	Bervariasi	0,20	Log-Normal
$\xi$	0,975689	0,05	Log-Normal

Hasil perhitungan keandalan kemudian digambarkan dalam bentuk grafik korelasi perubahan indeks keandalan  $\beta$  dan peluang kegagalan  $P_f$ , sebagai fungsi umur operasi untuk tiap-tiap tingkat rentang tegangan tertentu seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6.3 dan 6.4. Berdasarkan data keluaran ini selanjutnya akan dievaluasi mengenai karakteristik struktur *guyed tower* dalam memenuhi persyaratan keandalan kelelahan struktur lepas pantai pada umumnya.



Gambar 6.3. Penurunan indeks keandalan sebagai fungsi pertambahan periode operasi untuk sejumlah harga rentang tegangan ekstrem pada struktur *guyed tower*.





Gambar 6.4. Kenaikan peluang kegagalan sebagai fungsi pertambahan periode operasi untuk sejumlah harga rentang tegangan ekstrem pada struktur *guyed tower*.

Persyaratan khusus tentang batas keandalan dan peluang kegagalan terhadap kelelahan untuk struktur bangunan lepas pantai khususnya *guyed tower* sampai saat ini memang masih jarang dijumpai. Tetapi dalam hal kekuatan puncak (*ultimate strength*), kapal umumnya dirancang untuk mencapai harga  $\beta$  antara 3,0-4,0 [Mansour (1990)]. Jika target ini dianggap bisa dijadikan sebagai acuan sebagai target untuk keandalan kelelahan struktur *guyed tower*, maka berdasarkan Gambar 6.3. diatas, dalam hal memenuhi periode operasi 20 tahun, rentang tegangan ekstrem struktur *guyed tower* harus sedikit lebih besar dari 280 N/mm<sup>2</sup>. Harga ini sudah mendekati rentang tegangan ekstrem ijin yang telah diturunkan dengan metode deterministik yaitu sebesar 280 N/mm<sup>2</sup>. Dengan mengambil harga ini dan target indeks keselamatan  $\beta=3,0$  ( $P_f = 1,35 \times 10^{-3}$ ), maka keandalan struktur hanya terpenuhi sampai dengan 17,5 tahun. Melihat perolehan ini, bukan berarti setelah periode tersebut struktur akan mengalami kegagalan,



tetapi operator perlu mengadakan pemeriksaan intensif pada bagian-bagian tertentu dari struktur tersebut.

Hasil diatas tentunya dengan asumsi bahwa target indeks keandalan untuk kekuatan puncak (*ultimate strength*) pada kapal yang diajukan oleh Mansour (1990) juga berlaku sebagai target indeks keandalan kelelahan untuk struktur *guyed tower*. Oleh karena itu acuan lain tentang target indeks keandalan yang lebih cocok untuk struktur *guyed tower* harus digunakan.

Salah satu acuan yang mungkin lebih tepat digunakan untuk struktur *guyed tower* dikemukakan oleh Wirsching & Chen (1988). Kriteria ini sebenarnya ditujukan untuk bangunan apung tipe *Tension Leg Platform (TLP)*. Bagian-bagian struktur dengan kriteria kelelahan tertentu yang akan menghasilkan target indeks keselamatan dan target rasio kerusakan digambarkan secara lebih spesifik. Selengkapnya bisa dilihat pada Tabel 6.4 berikut.

Tabel 6.4. Kriteria perancangan kelelahan untuk *TLP*  
[Wirsching & Chen (1988)]

Target Safety Index, $\beta$	Application	Target Damage Level, $\Delta$
2,0	The structure is redundant and cracks are easily inspected and repaired; used for deck structure, mating joints, main body of cylinders and pontoons and production risers.	0,55
2,5	For redundant and non critical structure which is non-inspectable, i.e., non-inspectable deck structure.	0,35
3,0	The structure is critical and, while inspection is possible, repairs are expensive; used for pontoon/cylinder interface, main braces, and for tension pile pullout.	0,22

Melihat kriteria dalam tabel diatas jelas ada perbedaan target indeks keselamatan untuk berbagai bagian struktur, serta pengaruh faktor operasional. Bila bagian struktur *guyed tower* yang ditinjau adalah bagian yang memerlukan biaya tinggi untuk reparasinya, maka harga  $\beta = 3,0$  ( $P_f = 1,35 \times 10^{-3}$ ) harus diambil. Harga diatas ternyata sama saja dengan kriteria yang dikemukakan oleh Mansour (1990) untuk kekuatan puncak (*ultimate strength*) pada kapal. Dengan demikian inspeksi ekstensif harus dilakukan dalam periode sekitar 17 tahunan.

Mencermati kembali hasil yang telah diperoleh diatas, menunjukkan bahwa sampai dengan tingkatan tertentu, prediksi karakteristik kelelahan dengan metode deterministik masih bersesuaian dengan hasil analisis keandalan, tetapi tentu saja ada catatan-catatan khusus yang harus dipertimbangkan oleh perancang.

## **BAB VII**

### **PENUTUP**

Analisa menyeluruh terhadap struktur *guyed tower* telah dilakukan, mulai dari analisa perilaku alami (*natural behaviour*) struktur, analisa kelelahan sampai pada analisa keandalan struktur *guyed tower* terhadap beban siklis.

Analisa pertama dilakukan dengan menggunakan fasilitas program analisa struktur SAP90. Sedangkan analisa perilaku kelelahan struktur *guyed tower* dilakukan dengan menerapkan metode deterministik dan semi-probabilistik. Metode deterministik diselesaikan dengan menggunakan dua pendekatan, yaitu analisis spektral penuh dan pendekatan ringkas. Analisa selanjutnya yang merupakan analisa semi-probabilistik untuk mendapatkan indeks keandalan dan peluang kegagalan telah dilakukan dengan menerapkan pendekatan *advanced first order second moment (AFOSM)*. Kemudian sebuah contoh prototype struktur *guyed tower* telah dijadikan objek analisis untuk memberikan deskripsi yang lebih jelas mengenai topik bahasan.

#### **7. 1. KESIMPULAN**

Dari keseluruhan analisa diatas beserta hasil yang diperoleh, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara alami ada perbedaan mendasar antara struktur *guyed tower* dengan struktur jacket konvensional. Kalau selama ini jacket konvensional banyak diasumsikan sebagai benda tegar kantilever dengan tumpuan jepit pada dasar



laut, maka asumsi seperti itu tidak lagi berlaku untuk struktur *guyed tower*. Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengatakan bahwa struktur *guyed tower* merupakan struktur lentur yang didealisasikan sebagai batang dengan tumpuan engsel (*pin*) pada kedua ujungnya dan bergetar dengan periode natural yang spesifik. Perbedaan ini tentunya akan membawa beberapa implikasi pada analisa kelelahan, terutama berkaitan dengan bagian struktur yang rentan terhadap kelelahan. Hasil analisa menunjukkan bahwa bagian struktur yang rentan terhadap kelelahan adalah pada bagian tengah struktur yang dikontrol oleh mode kedua gerakan struktur yaitu *flexural mode* dengan periode natural sebesar 17,1 detik.

2. Dengan data beban dan lingkungan yang ada, prediksi deterministik umur kelelahan struktur *guyed tower* dengan menggunakan hukum Miner menunjukkan bahwa umur kelelahan struktur yang berkorelasi dengan tegangan ekstrem  $280 \text{ N/mm}^2$  dapat mencapai 133 tahun dengan siklus tegangan total yang terjadi adalah sebesar  $7,37 \times 10^7$ . Harga parameter bentuk distribusi tegangan,  $\xi$  yang berkorelasi dengan tegangan ekstrem diatas adalah sebesar 0,976. Selanjutnya dengan memvariasikan harga tegangan ekstrem yang akan terlampaui selama umur operasi, diperoleh perubahan umur kelelahan. Penambahan tegangan ekstrem akan menyebabkan berkurangnya prediksi umur kelelahan yang diperoleh.
3. Evaluasi sensitivitas umur kelelahan terhadap perubahan beberapa variabel dalam persamaan kelelahan terangkai juga telah dilakukan. Variabel yang dirubah dalam hal ini adalah parameter bentuk distribusi tegangan  $\xi$ . Dari evaluasi ini didapatkan informasi tentang sensitivitas umur kelelahan terhadap

perubahan harga  $\xi$  yang ternyata cukup signifikan. Perubahan harga  $\xi$  sebesar 10% saja akan mengakibatkan perubahan umur kelelahan sebesar 35% sampai 55%.

4. Hasil analisa probabilistik yang telah dilakukan untuk mendapatkan indeks keandalan dan peluang kegagalan struktur ditampilkan dalam bentuk grafik. Dengan demikian evaluasi terhadap karakteristik keandalan struktur dapat dengan mudah dilakukan, tentu saja dengan mengambil beberapa acuan yang dianggap valid. Dua acuan yang diambil yaitu dari Mansour (1990) dan Wirsching & Chen (1988) memberikan target indeks keandalan yang sama untuk kriteria tertentu yaitu sebesar 3,0. Dengan asumsi bahwa kedua acuan diatas juga valid untuk struktur *guyed tower* dan mengambil target indeks keandalan ini, maka berdasarkan hasil komputasi diatas, keandalan struktur hanya akan terpenuhi sampai pada umur 17,5 tahun. Perolehan ini tidak perlu diinterpretasikan bahwa struktur akan mengalami kegagalan setelah 17,5 tahun, tetapi lebih sebagai peringatan agar bagian struktur yang dimaksud diperiksa secara periodik setiap periode waktu tersebut. Akhirnya, berdasarkan perolehan diatas, struktur *guyed tower* memerlukan pemeriksaan periodik pada bagian-bagian tertentu setiap 17 tahunan.

## 7. 2. SARAN

1. Hasil analisis ini bisa jadi merupakan awal untuk menuju analisis struktur *guyed tower* yang lebih mendalam. Akan sangat menarik apabila analisis berikutnya mempertimbangkan lebih banyak lagi variabel yang berpengaruh,



sehingga dengan demikian diharapkan perilaku alami (*natural behaviour*) dari struktur *guyed tower* akan bisa teridentifikasi dengan tepat dan diharapkan bisa mendekati kondisi yang sebenarnya.

2. Untuk meningkatkan akurasi hasil yang diperoleh dalam analisis dinamis struktur *guyed tower*, disarankan agar benar-benar memperhatikan pemodelan struktur seperti pembentukan massa terpusat (*lumped mass*), kekakuan struktur dan tumpuan yang digunakan.
3. Perlu dilakukan eksplorasi literatur yang lebih banyak lagi untuk memperoleh informasi tentang detail struktur yang lebih lengkap. Dengan demikian analisis selanjutnya akan mempunyai acuan yang jelas, baik untuk aspek kelelahan maupun keandalannya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Almar-Naess, A. ed, *"Fatigue Handbook: Offshore Steel Structures"*, Tapir Publishers, Trondheim, Norway, 1985.
- Basu, A. K. and Dutta, A., *"Dynamic Behaviour of Guyed Towers"*, *Proceeding of Conference on Behaviour of Offshore Structures*, 1982.
- Bouma, A. L. et al, *"Probabilistic Reliability Analysis"*, *Journal of Behaviour of Offshore Structures*, 1976.
- Chakrabarti, S.K., *"Hydrodynamics of Offshore Structures"*, Computational Mechanics Publication Southhampton, Boston, 1986.
- Dawson, T. H., *"Offshore Structural Engineering"*, Prentice Hall inc., New Jersey, 1983.
- Djarmiko, E. B. dkk, *"Karakterisasi Keandalan Struktur Kapal SWATH terhadap Kelelahan"*, *Laporan Penelitian*, ITS-Surabaya, 1994.
- Finn, L. D., *"A New Deepwater Offshore Platform - The Guyed Tower"*, *Proceeding of Offshore Technology Conference*, Texas, 1976.
- Finn, L. D. and Young, K. E., *"Field Test of A Guyed Tower"*, *Proceeding of Offshore Technology Conference*, 1978.
- Gurney, T. R., *"Fatigue Design Rules for Welded Steel Joints"*, *The Welding Institute Research Bulletin*, 1976.
- Hallam, M. G. et al, *"Dynamics of Marine Structures: Methods of Calculating The Dynamic Response of Fixed Structures Subject to Wave and Current Action"*, CIRIA Underwater Engineering Group, London, 1978.
- Kardomateas, G. et al, *"The Static and Dynamics of The Mooring Lines of A Guyed Tower for Design Application"*, *Proceeding of Conference on Behaviour of Offshore Structures*, 1982.
- Koonce, K. T., *"Technology Needs for Deepwater Operations"*, *Journal of Behaviour of Offshore Structures*, 1976.
- Koten, H. V., *"Fatigue Analysis of Marine Structures"*, *Journal of Behaviour of Offshore Structures*, 1976.

- Mansour, A. E., *"An Introduction to Structural Reliability Theory"*, Ship Structure Committee, Washington DC, 1990.
- Nair, D. and Duval, P. S., *"Design Concepts and Strategies for Guyed Tower Platforms"*, *Proceeding of Conference on Behaviour of Offshore Structures*, 1982.
- Rosyid, D. M., *"Analisis Keandalan dan Resiko"*, Diktat Kuliah Jurusan Teknik Kelautan, ITS, 1996.
- Thoft-Christensen, P. and Murotsu, Y., *"Application of Structural Systems Reliability Theory"*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1986.
- Wilson, J. F., *"Dynamics of Offshore Structures"*, John Willey & sons, New York, 1984.
- Wirsching, P. H. and Chen, Y. N., *"Consideration of Probability-Based Fatigue Design for Marine Structures"*, *Journal of Marine Structures*, 1988.

# **LAMPIRAN A**

**ANALISA STRUKTUR DENGAN  
PROGRAM SAP90**



ANALISA DINAMIS STRUKTUR GUYED TOWER (LB, FT)  
SYSTEM  
L=1 V=18

JOINTS

1	X=0	Y=0	Z=0
2	X=0	Y=50	
3	X=0	Y=100	
16	X=0	Y=1400	G=3,16,1
17	X=0	Y=1450	
19	X=0	Y=1550	G=17,19,1

RESTRAINTS

1		R=1,1,1,1,1,1
2	19 1	R=0,0,1,1,1,0

SPRINGS

17	K=90000,0
----	-----------

MASSES

2	M=12266.08
3	M=22287.6512
4	M=29530.884
5	M=29530.884
6	M=29530.884
7	M=29530.884
8	M=29530.884
9	M=29530.884
10	M=29530.884
11	M=29530.884
12	M=29530.884
13	M=29530.884
14	M=29530.884
15	M=29530.884
16	M=20898.482
17	M=15044.4173
18	M=9662.615
19	M=235896.5861

FRAME

NM=1	NSL=17
1	E=1.384E11 I=33.528
1	TRAP=0,3.1681,0,50,3.2862,0
2	TRAP=0,3.2862,0,50,3.6492,0
3	TRAP=0,3.6492,0,100,5.2385,0
4	TRAP=0,5.2385,0,100,8.4186,0
5	TRAP=0,8.4186,0,100,14.1548,0
6	TRAP=0,14.1548,0,100,24.1880,0
7	TRAP=0,24.1880,0,100,41.5610,0
8	TRAP=0,41.5610,0,100,71.5380,0
9	TRAP=0,71.5380,0,100,123.1870,0
10	TRAP=0,123.1870,0,99.99,212.0859,0
11	TRAP=0,212.0859,0,100,364.9126,0
12	TRAP=0,364.9126,0,100,627.1267,0
13	TRAP=0,627.1267,0,99.99,1075.527,0
14	TRAP=0,1075.527,0,100,2087.1030,0
15	TRAP=0,2087.1030,0,100,5257.9080,0
16	TRAP=0,5257.9080,0,50,8652.4430,0
17	TRAP=0,8652.4430,0,50,13952.43,0

1	1	2	NSL=1	M=1	LP=1,0
2	2	3	NSL=2		



3	3	4	NSL=3
4	4	5	NSL=4
5	5	6	NSL=5
6	6	7	NSL=6
7	7	8	NSL=7
8	8	9	NSL=8
9	9	10	NSL=9
10	10	11	NSL=10
11	11	12	NSL=11
12	12	13	NSL=12
13	13	14	NSL=13
14	14	15	NSL=14
15	15	16	NSL=15
16	16	17	NSL=16
17	17	18	NSL=17
18	18	19	

TIMEH

NSTEP=36 DT=6.283185/36 ATYPE=1 D=0.0

NF=1 NPL=9 DT=6.283185/36 PRIN=1

0.0	0.174	0.342	0.500	0.643	0.766	0.866	0.940	0.985
1.0	0.985	0.940	0.866	0.766	0.643	0.500	0.342	0.174
0.0	-0.174	-0.342	-0.500	-0.643	-0.766	-0.866	-0.940	-0.985
-1.0	-0.985	-0.940	-0.866	-0.766	-0.643	-0.500	-0.342	-0.174
0.0								

LC=1 NF=1

PROGRAM:SAP90/FILE:TOWER1.F3F

ANALISA DINAMIS STRUKTUR GUYED TOWER (LB, FT)

# FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL DIST FORCE ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT	AXIAL TORQ
1	1	.00					
		.0	-.21839E+06	.17075E+09			
		50.0	-.21823E+06	.15984E+09			
2	1	.00					
		.0	-.21823E+06	.15984E+09			
		50.0	-.21805E+06	.14893E+09			
3	1	.00					
		.0	-.21805E+06	.14893E+09			
		100.0	-.21761E+06	.12715E+09			
4	1	.00					
		.0	-.21761E+06	.12715E+09			
		100.0	-.21693E+06	.10542E+09			
5	1	.00					
		.0	-.21693E+06	.10542E+09			
		100.0	-215798.93	83776792.67			
6	1	.00					
		.0	-215798.93	83776792.67			
		100.0	-213881.79	62284395.48			
7	1	.00					
		.0	-213881.79	62284395.48			
		100.0	-210594.34	41046111.29			
8	1	.00					
		.0	-210594.34	41046111.29			
		100.0	-204939.39	20244443.76			
9	1	.00					
		.0	-204939.39	20244443.76			
		100.0	-195203.14	194276.24			
10	1	.00					
		.0	-195203.14	194276.24			
		100.0	-178441.17	-18560156.75			
		100.0	-178441.17	-18561923.31			
11	1	.00					
		.0	-178441.17	-18561923.31			
		100.0	-149591.25	-35090899.98			



12	-----			
	1	.00		
		.0	-149591.25-35090899.98	
		100.0	-99989.28-47788438.30	
13	-----			
	1	.00		
		.0	-99989.28-47788438.30	
		100.0	-14865.11-53904177.45	
		100.0	-14865.11-53904324.61	
14	-----			
	1	.00		
		.0	-14865.11-53904324.61	
		13.0	.24-54002985.31	
		100.0	143266.39-48327240.77	
15	-----			
	1	.00		
		.0	143266.39-48327240.77	
		100.0	510516.94-18280411.92	
16	-----			
	1	.00		
		.0	510516.94-18280411.92	
		50.0	858275.71 15232209.58	
17	-----			
	1	.00		
		.0	-565121.82 15232209.58	
		50.0	.00 .00	
18	-----			
	1	.00		
		.0	.00 .00	
		50.0	.00 .00	

# ANALISA DINAMIS STRUKTUR GUYED TOWER (LB, FT)

## E I G E N   S Y S T E M   P A R A M E T E R S

NUMBER OF EQUATIONS	=	54
NUMBER OF MASSES	=	18
NUMBER OF VALUES TO BE EVALUATED	=	18
SIZE OF SUBSPACE	=	18

## E I G E N V A L U E S   A N D   F R E Q U E N C I E S

MODE NUMBER	EIGENVALUE (RAD/SEC)**2	CIRCULAR FREQ (RAD/SEC)	FREQUENCY (CYCLES/SEC)	PERIOD (SEC)
1	.229303E+00	.478856E+00	.076212	13.121249
2	.780605E+00	.883519E+00	.140616	7.111547
3	.733489E+01	.270830E+01	.431039	2.319974
4	.310192E+02	.556949E+01	.886411	1.128145
5	.897175E+02	.947193E+01	1.507505	.663348
6	.207327E+03	.143988E+02	2.291647	.436367
7	.412758E+03	.203165E+02	3.233465	.309266
8	.739651E+03	.271965E+02	4.328462	.231029
9	.122711E+04	.350301E+02	5.575220	.179365
10	.191623E+04	.437748E+02	6.966974	.143534
11	.283395E+04	.532348E+02	8.472588	.118028
12	.396256E+04	.629489E+02	10.018627	.099814
13	.520486E+04	.721447E+02	11.482185	.087091
14	.637237E+04	.798271E+02	12.704884	.078710
15	.722506E+04	.850004E+02	13.528231	.073919
16	.122610E+05	.110730E+03	17.623159	.056744
17	.589749E+05	.242848E+03	38.650392	.025873
18	.676584E+05	.260112E+03	41.398151	.024156

## B A S E   F O R C E   R E A C T I O N   F A C T O R S

MODE #	PERIOD (sec)	X DIRECTION	Y DIRECTION	Z DIRECTION	X MOMENT	Y MOMENT	Z MOMENT
1	13.121	.699E+03	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.945E+06
2	7.112	-.303E+03	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.911E+05
3	2.320	.179E+03	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.303E+05
4	1.128	.132E+03	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.239E+05
5	.663	-.966E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.924E+04
6	.436	.795E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.854E+04
7	.309	-.655E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.458E+04
8	.231	.577E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.430E+04
9	.179	-.519E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.291E+04
10	.144	-.489E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.274E+04
11	.118	.470E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.221E+04
12	.100	-.459E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.209E+04
13	.087	-.434E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.179E+04
14	.079	-.364E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.146E+04
15	.074	-.215E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.825E+03
16	.057	.311E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.293E+02
17	.026	.598E+02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.153E+04
18	.024	.219E-02	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	-.102E+02

PARTICIPATING M A S S - (percent)

MODE	X-DIR	Y-DIR	Z-DIR	X-SUM	Y-SUM	Z-SUM
1	72.942	00.000	00.000	72.942	00.000	00.000
2	13.716	00.000	00.000	86.658	00.000	00.000
3	4.785	00.000	00.000	91.443	00.000	00.000
4	2.605	00.000	00.000	94.049	00.000	00.000
5	1.392	00.000	00.000	95.440	00.000	00.000
6	.942	00.000	00.000	96.382	00.000	00.000
7	.639	00.000	00.000	97.022	00.000	00.000
8	.496	00.000	00.000	97.518	00.000	00.000
9	.401	00.000	00.000	97.919	00.000	00.000
10	.356	00.000	00.000	98.275	00.000	00.000
11	.329	00.000	00.000	98.605	00.000	00.000
12	.314	00.000	00.000	98.919	00.000	00.000
13	.281	00.000	00.000	99.200	00.000	00.000
14	.197	00.000	00.000	99.397	00.000	00.000
15	.069	00.000	00.000	99.466	00.000	00.000
16	.000	00.000	00.000	99.466	00.000	00.000
17	.534	00.000	00.000	100.000	00.000	00.000
18	.000	00.000	00.000	100.000	00.000	00.000



PROGRAM:SAP90/FILE:TOWER1.SOL  
ANALISA DINAMIS STRUKTUR GUYED TOWER (LB,FT)

M O D E S H A P E S

MODE SHAPE NUMBER 1 PERIOD = 13.121249 SECONDS

DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000
2	.4001E-05	.0000E+00	-.1581E-06
3	.1562E-04	.0000E+00	-.3047E-06
4	.5941E-04	.0000E+00	-.5634E-06
5	.1268E-03	.0000E+00	-.7765E-06
6	.2132E-03	.0000E+00	-.9455E-06
7	.3145E-03	.0000E+00	-.1073E-05
8	.4266E-03	.0000E+00	-.1162E-05
9	.5459E-03	.0000E+00	-.1219E-05
10	.6696E-03	.0000E+00	-.1251E-05
11	.7956E-03	.0000E+00	-.1267E-05
12	.9227E-03	.0000E+00	-.1276E-05
13	.001051	.000000	-.000001
14	.001182	.000000	-.000001
15	.001318	.000000	-.000001
16	.001465	.000000	-.000002
17	.001544	.000000	-.000002
18	.001627	.000000	-.000002
19	.001713	.000000	-.000002

PROGRAM:SAP90/FILE:TOWER1.SOL  
ANALISA DINAMIS STRUKTUR GUYED TOWER (LB,FT)

M O D E S H A P E S

MODE SHAPE NUMBER 2 PERIOD = 7.111547 SECONDS

DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000
2	-.2426E-04	.0000E+00	.9477E-06
3	-.9250E-04	.0000E+00	.1759E-05
4	-.3338E-03	.0000E+00	.2976E-05
5	-.6700E-03	.0000E+00	.3661E-05
6	-.001049	.000000	.000004
7	-.001422	.000000	.000004
8	-.001746	.000000	.000003
9	-.001983	.000000	.000002
10	-.002107	.000000	.000001
11	-.002098	.000000	-.000001
12	-.001950	.000000	-.000002
13	-.001664	.000000	-.000004
14	-.001252	.000000	-.000005
15	-.7357E-03	.0000E+00	-.5607E-05
16	-.1403E-03	.0000E+00	-.6250E-05
17	.1777E-03	.0000E+00	-.6456E-05
18	.5039E-03	.0000E+00	-.6581E-05
19	.8344E-03	.0000E+00	-.6622E-05

PROGRAM:SAP90/FILE:TOWER1.SOL  
 ANALISA DINAMIS STRUKTUR GUYED TOWER (LB,FT)

# M O D E S H A P E S

MODE SHAPE NUMBER 3 PERIOD = 2.319974 SECONDS

DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000
2	.7316E-04	.0000E+00	-.2804E-05
3	.2682E-03	.0000E+00	-.4875E-05
4	.8790E-03	.0000E+00	-.6871E-05
5	.001555	.000000	-.000006
6	.002059	.000000	-.000004
7	.002225	.000000	.000000
8	.001983	.000000	.000004
9	.001359	.000000	.000008
10	.4739E-03	.0000E+00	.9599E-05
11	-.4944E-03	.0000E+00	.9418E-05
12	-.001344	.000000	.000007
13	-.001896	.000000	.000004
14	-.002032	.000000	-.000001
15	-.001719	.000000	-.000005
16	-.001014	.000000	-.000009
17	-.5541E-03	.0000E+00	-.9707E-05
18	-.5025E-04	.0000E+00	-.1037E-04
19	.4757E-03	.0000E+00	-.1059E-04

PROGRAM:SAP90/FILE:TOWER1.SOL  
 ANALISA DINAMIS STRUKTUR GUYED TOWER (LB,FT)

# M O D E S H A P E S

MODE SHAPE NUMBER 4 PERIOD = 1.128145 SECONDS

DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000
2	-.1448E-03	.0000E+00	.5432E-05
3	-.5075E-03	.0000E+00	.8722E-05
4	-.001473	.000000	.000009
5	-.002156	.000000	.000004
6	-.002096	.000000	-.000005
7	-.001229	.000000	-.000012
8	.1160E-03	.0000E+00	-.1406E-04
9	.001388	.000000	-.000010
10	.002053	.000000	-.000002
11	.001833	.000000	.000007
12	.8260E-03	.0000E+00	.1275E-04
13	-.5350E-03	.0000E+00	.1342E-04
14	-.001665	.000000	.000008
15	-.002077	.000000	-.000000
16	-.001590	.000000	-.000009
17	-.001055	.000000	-.000012
18	-.3877E-03	.0000E+00	-.1424E-04
19	.3472E-03	.0000E+00	-.1493E-04

PROGRAM:SAP90/FILE:TOWER1.SOL  
 ANALISA DINAMIS STRUKTUR GUYED TOWER (LB,FT)

# JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	R(Z)
1	.0000000	.0000000	.0000000
2	-.045018	.0000000	.001781
3	-.176151	.0000000	.003445
4	-.673264	.0000000	.006419
5	-1.444395	.0000000	.008925
6	-2.442721	.0000000	.010964
7	-3.621617	.0000000	.012537
8	-4.934783	.0000000	.013650
9	-6.336482	.0000000	.014309
10	-7.781941	.0000000	.014528
11	-9.228047	.0000000	.014327
12	-10.634543	.0000000	.013744
13	-11.966092	.0000000	.012842
14	-13.195815	.0000000	.011731
15	-14.311403	.0000000	.010601
16	-15.326980	.0000000	.009817
17	-15.815528	.0000000	.009785
18	-16.306885	.0000000	.009842
19	-16.798965	.0000000	.009842

PROGRAM:SAP90/FILE:TOWER1.SOL  
 ANALISA DINAMIS STRUKTUR GUYED TOWER (LB,FT)

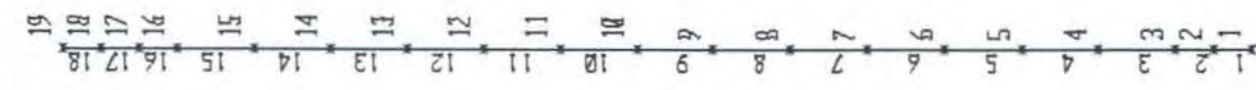
# REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	M(Z)
1	.2184E+06	-.1708E+09
2	.8993E-08	.1490E-06
3	-.1543E-08	-.4172E-06
4	.5559E-08	.2980E-07
5	-.3783E-08	-.3278E-06
6	.1391E-07	-.1401E-05
7	-.3434E-08	.1714E-06
8	-.5358E-07	-.2831E-06
9	.1545E-06	-.3763E-06
10	-.9226E-07	.1062E-04
11	-.2200E-07	.4154E-05
12	-.6787E-07	.9708E-05
13	-.3558E-07	.0000E+00
14	-.5790E-07	.1490E-07
15	.3683E-06	.6482E-05
16	-.6901E-06	.2899E-04
17	.1423E+07	.3230E-04
18	-.9982E-07	-.1986E-04
19	.9575E-06	-.2078E-04

TOTAL .1642E+07 -.1708E+09

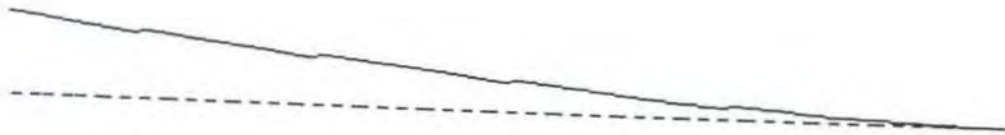




TOWER1  
UNDEFORMED  
SHAPE

OPTIONS  
JOINT IDS  
ALL JOINTS  
ELEMENT IDS  
WIRE FRAME

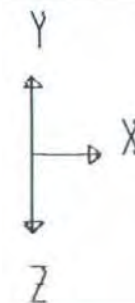
SAP90



TOWER1  
 MODE  
 SHAPE  
 MODE 1

MINIMA  
 X .0000E+00  
 Y .0000E+00  
 Z .0000E+00  
 MAXIMA  
 X .1713E-02  
 Y .0000E+00  
 Z .0000E+00

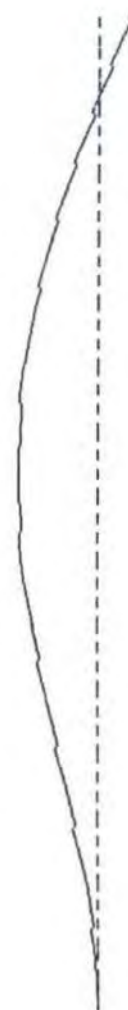
SAP90



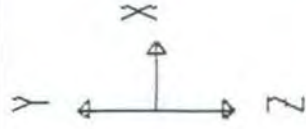
TOWER1  
MODE  
SHAPE  
MODE 2

MINIMA  
X  $-.2107E-02$   
Y  $.0000E+00$   
Z  $.0000E+00$   
MAXIMA  
X  $.8344E-03$   
Y  $.0000E+00$   
Z  $.0000E+00$

SAP90



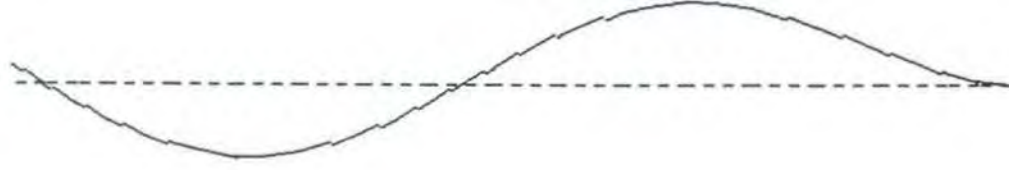




TOWER1  
MODE  
SHAPE  
MODE 3

MINIMA  
X -.2032E-02  
Y .0000E+00  
Z .0000E+00  
MAXIMA  
X .2225E-02  
Y .0000E+00  
Z .0000E+00

SAP90





TOWER1  
 MODE  
 SHAPE  
 MODE 4

MINIMA  
 X -.2156E-02  
 Y .0000E+00  
 Z .0000E+00  
 MAXIMA  
 X .2053E-02  
 Y .0000E+00  
 Z .0000E+00

SAP90

# **LAMPIRAN B**

## **PERHITUNGAN UMUR KELELAHAN STRUKTUR GUYED TOWER**



c

w	fc1	fc2	F1	F2	M1	M2
0.1	186.306164	156.254644	5659.98128	4747.01609	86258.1147	72344.5252
0.2	-407.7043	-460.9679	-12386.0568	-14004.2047	-188763.51	-213424.08
0.3	-843.64145	-691.68992	-25629.8273	-21013.5397	-390598.57	-320246.35
0.4	-460.35493	-287.34037	-13985.5828	-8729.40053	-213140.28	-133036.06
0.5	-123.3515	-57.043046	-3747.41853	-1732.96773	-57110.658	-26410.428
0.6	-19.438556	-6.3564399	-590.543327	-193.108644	-8999.8803	-2942.9757
0.7	-1.9177233	-0.4184301	-58.2604341	-12.7119065	-887.88902	-193.72945
0.8	-0.1211071	-0.0165797	-3.67923219	-0.50369008	-56.071499	-7.6762369
0.9	-0.0049479	-0.0003994	-0.15031859	-0.01213459	-2.2908554	-0.1849311
1	-0.0001317	-5.89E-06	-0.00399999	-0.00017893	-0.0609598	-0.0027269
1.1	-2.293E-06	-5.341E-08	-6.9656E-05	-1.6226E-06	-0.0010616	-2.473E-05
1.2	-2.622E-08	-2.989E-10	-7.9658E-07	-9.0811E-09	-1.214E-05	-1.384E-07
1.3	-1.974E-10	-1.035E-12	-5.9984E-09	-3.1449E-11	-9.141E-08	-4.793E-10
1.4	-9.81E-13	-2.223E-15	-2.9803E-11	-6.7531E-14	-4.542E-10	-1.029E-12
1.5	-3.221E-15	-2.965E-18	-9.7866E-14	-9.0064E-17	-1.491E-12	-1.373E-15
1.6	-7E-18	-2.459E-21	-2.1267E-16	-7.4702E-20	-3.241E-15	-1.138E-18
1.7	-1.008E-20	-1.27E-24	-3.0618E-19	-3.8575E-23	-4.666E-18	-5.879E-22
1.8	-9.621E-24	-4.086E-28	-2.9229E-22	-1.2413E-26	-4.454E-21	-1.892E-25
1.9	-6.095E-27	-8.199E-32	-1.8516E-25	-2.4907E-30	-2.822E-24	-3.796E-29
2	-2.564E-30	-1.027E-35	-7.7885E-29	-3.1188E-34	-1.187E-27	-4.753E-33
2.1	-7.164E-34	-8.025E-40	-2.1765E-32	-2.4381E-38	-3.317E-31	-3.716E-37
2.2	-1.331E-37	-3.919E-44	-4.0429E-36	-1.1906E-42	-6.161E-35	-1.814E-41
2.3	-1.644E-41	-1.196E-48	-4.9934E-40	-3.6328E-47	-7.61E-39	-5.536E-46
2.4	-1.35E-45	-2.281E-53	-4.1025E-44	-6.9293E-52	-6.252E-43	-1.056E-50
2.5	-7.382E-50	-2.72E-58	-2.2427E-48	-8.2646E-57	-3.418E-47	-1.26E-55



b1

w	u/coswt	v/sin wt	un max	vn max	anx	any	v	fx	fy	Fx	Fy	M
0.1	1.21621106	-1.2162111	0.85999109	-0.85999109	-0.0859991	0.08599911	1.216027	374.3654	-374.365	8067.575	-8067.57	122946.3
0.2	1.29655819	-1.2965582	0.91680509	-0.91680509	-0.183361	0.18336102	1.296362	310.253	-310.253	6685.952	-6685.95	101891
0.3	0.68150919	-0.6815092	0.48189977	-0.48189977	-0.1445699	0.14456993	0.681406	-40.6405	40.64052	-875.803	875.8031	13346.86
0.4	0.20933135	-0.2093314	0.14801962	-0.14801962	-0.0592078	0.05920785	0.2093	-65.148	65.14803	-1403.94	1403.94	21395.44
0.5	0.03962812	-0.0396281	0.02802131	-0.02802131	-0.0140107	0.01401066	0.039622	-18.3316	18.33157	-395.045	395.0453	6020.318
0.6	0.00473456	-0.0047346	0.00334784	-0.00334784	-0.0020087	0.0020087	0.004734	-2.69536	2.695358	-58.085	58.08497	885.1897
0.7	0.00036154	-0.0003615	0.00025565	-0.00025565	-0.000179	0.00017895	0.000361	-0.24074	0.240745	-5.18805	5.188051	79.06364
0.8	1.7779E-05	-1.778E-05	1.2572E-05	-1.2572E-05	-1.006E-05	1.0057E-05	1.78E-05	-0.01353	0.013533	-0.29163	0.291627	4.444274
0.9	5.658E-07	-5.658E-07	4.0008E-07	-4.0008E-07	-3.601E-07	3.6008E-07	5.66E-07	-0.00048	0.000484	-0.01044	0.010441	0.159115
1	1.1691E-08	-1.169E-08	8.2669E-09	-8.2669E-09	-8.267E-09	8.2669E-09	1.17E-08	-1.1E-05	1.11E-05	-0.00024	0.00024	0.003653
1.1	1.5723E-10	-1.572E-10	1.1118E-10	-1.1118E-10	-1.223E-10	1.2229E-10	1.57E-10	-1.6E-07	1.65E-07	-3.5E-06	3.55E-06	5.4E-05
1.2	1.3785E-12	-1.379E-12	9.7478E-13	-9.7478E-13	-1.17E-12	1.1697E-12	1.38E-12	-1.6E-09	1.57E-09	-3.4E-08	3.39E-08	5.17E-07
1.3	7.8909E-15	-7.891E-15	5.5797E-15	-5.5797E-15	-7.254E-15	7.2536E-15	7.89E-15	-9.8E-12	9.76E-12	-2.1E-10	2.1E-10	3.21E-09
1.4	2.9518E-17	-2.952E-17	2.0872E-17	-2.0872E-17	-2.922E-17	2.9221E-17	2.95E-17	-3.9E-14	3.93E-14	-8.5E-13	8.47E-13	1.29E-11
1.5	7.2221E-20	-7.222E-20	5.1068E-20	-5.1068E-20	-7.66E-20	7.6602E-20	7.22E-20	-1E-16	1.03E-16	-2.2E-15	2.22E-15	3.38E-14
1.6	1.1565E-22	-1.156E-22	8.1776E-23	-8.1776E-23	-1.308E-22	1.3084E-22	1.16E-22	-1.8E-19	1.76E-19	-3.8E-18	3.79E-18	5.78E-17
1.7	1.2127E-25	-1.213E-25	8.5751E-26	-8.5751E-26	-1.458E-25	1.4578E-25	1.21E-25	-2E-22	1.96E-22	-4.2E-21	4.23E-21	6.44E-20
1.8	8.331E-29	-8.331E-29	5.8909E-29	-5.8909E-29	-1.06E-28	1.0604E-28	8.33E-29	-1.4E-25	1.43E-25	-3.1E-24	3.07E-24	4.69E-23
1.9	3.7509E-32	-3.751E-32	2.6523E-32	-2.6523E-32	-5.039E-32	5.0393E-32	3.75E-32	-6.8E-29	6.78E-29	-1.5E-27	1.46E-27	2.23E-26
2	1.1071E-35	-1.107E-35	7.8286E-36	-7.8286E-36	-1.566E-35	1.5657E-35	1.11E-35	-2.1E-32	2.11E-32	-4.5E-31	4.54E-31	6.92E-30
2.1	2.1429E-39	-2.143E-39	1.5153E-39	-1.5153E-39	-3.182E-39	3.1821E-39	2.14E-39	-4.3E-36	4.28E-36	-9.2E-35	9.23E-35	1.41E-33
2.2	2.7207E-43	-2.721E-43	1.9238E-43	-1.9238E-43	-4.232E-43	4.2324E-43	2.72E-43	-5.7E-40	5.69E-40	-1.2E-38	1.23E-38	1.87E-37
2.3	2.2661E-47	-2.266E-47	1.6024E-47	-1.6024E-47	-3.685E-47	3.6854E-47	2.27E-47	-5E-44	4.96E-44	-1.1E-42	1.07E-42	1.63E-41
2.4	1.2385E-51	-1.238E-51	8.7574E-52	-8.7574E-52	-2.102E-51	2.1018E-51	1.24E-51	-2.8E-48	2.83E-48	-6.1E-47	6.09E-47	9.29E-46
2.5	4.4421E-56	-4.442E-56	3.141E-56	-3.141E-56	-7.853E-56	7.8526E-56	4.44E-56	-1.1E-52	1.06E-52	-2.3E-51	2.28E-51	3.47E-50



b2

w	u/coswt	v/sin wt	un max	vn max	anx	any	v	fx	fy	Fx	Fy	M
0.1	1.19746302	-1.197463	0.84673422	-0.84673422	-0.0846734	0.08467342	1.197282	361.1563	-361.156	7782.919	-7782.92	118608.3
0.2	1.21844144	-1.2184414	0.8615682	-0.8615682	-0.1723136	0.17231364	1.218257	260.0251	-260.025	5603.54	-5603.54	85395.52
0.3	0.59258435	-0.5925844	0.41902041	-0.41902041	-0.1257061	0.12570612	0.592495	-52.7968	52.79679	-1137.77	1137.771	17339.13
0.4	0.16326191	-0.1632619	0.1154436	-0.1154436	-0.0461774	0.04617744	0.163237	-53.3023	53.30231	-1148.66	1148.665	17505.15
0.5	0.02687401	-0.026874	0.0190028	-0.0190028	-0.0095014	0.0095014	0.02687	-12.5452	12.54521	-270.349	270.3492	4120.005
0.6	0.00270641	-0.0027064	0.00191372	-0.00191372	-0.0011482	0.00114823	0.002706	-1.54256	1.542562	-33.2422	33.24221	506.5969
0.7	0.00016887	-0.0001689	0.00011941	-0.00011941	-8.359E-05	8.3588E-05	0.000169	-0.11246	0.112461	-2.42354	2.423543	36.93375
0.8	6.5783E-06	-6.578E-06	4.6516E-06	-4.6516E-06	-3.721E-06	3.7213E-06	6.58E-06	-0.00501	0.005007	-0.1079	0.107903	1.644392
0.9	1.6076E-07	-1.608E-07	1.1367E-07	-1.1367E-07	-1.023E-07	1.0231E-07	1.61E-07	-0.00014	0.000138	-0.00297	0.002966	0.045208
1	2.4727E-09	-2.473E-09	1.7485E-09	-1.7485E-09	-1.748E-09	1.7485E-09	2.47E-09	-2.4E-06	2.35E-06	-5.1E-05	5.07E-05	0.000773
1.1	2.3997E-11	-2.4E-11	1.6968E-11	-1.6968E-11	-1.867E-11	1.8665E-11	2.4E-11	-2.5E-08	2.51E-08	-5.4E-07	5.41E-07	8.25E-06
1.2	1.4719E-13	-1.472E-13	1.0408E-13	-1.0408E-13	-1.249E-13	1.2489E-13	1.47E-13	-1.7E-10	1.68E-10	-3.6E-09	3.62E-09	5.52E-08
1.3	5.7136E-16	-5.714E-16	4.0401E-16	-4.0401E-16	-5.252E-16	5.2521E-16	5.71E-16	-7.1E-13	7.07E-13	-1.5E-11	1.52E-11	2.32E-10
1.4	1.4051E-18	-1.405E-18	9.9355E-19	-9.9355E-19	-1.391E-18	1.391E-18	1.4E-18	-1.9E-15	1.87E-15	-4E-14	4.03E-14	6.15E-13
1.5	2.1909E-21	-2.191E-21	1.5492E-21	-1.5492E-21	-2.324E-21	2.3238E-21	2.19E-21	-3.1E-18	3.13E-18	-6.7E-17	6.74E-17	1.03E-15
1.6	2.1675E-24	-2.167E-24	1.5326E-24	-1.5326E-24	-2.452E-24	2.4522E-24	2.17E-24	-3.3E-21	3.3E-21	-7.1E-20	7.11E-20	1.08E-18
1.7	1.3612E-27	-1.361E-27	9.625E-28	-9.625E-28	-1.636E-27	1.6363E-27	1.36E-27	-2.2E-24	2.2E-24	-4.7E-23	4.74E-23	7.23E-22
1.8	5.429E-31	-5.429E-31	3.8389E-31	-3.8389E-31	-6.91E-31	6.91E-31	5.43E-31	-9.3E-28	9.3E-28	-2E-26	2E-26	3.05E-25
1.9	1.3757E-34	-1.376E-34	9.7276E-35	-9.7276E-35	-1.848E-34	1.8483E-34	1.38E-34	-2.5E-31	2.49E-31	-5.4E-30	5.36E-30	8.17E-29
2	2.2154E-38	-2.215E-38	1.5666E-38	-1.5666E-38	-3.133E-38	3.1331E-38	2.22E-38	-4.2E-35	4.22E-35	-9.1E-34	9.08E-34	1.38E-32
2.1	2.2681E-42	-2.268E-42	1.6038E-42	-1.6038E-42	-3.368E-42	3.3679E-42	2.27E-42	-4.5E-39	4.53E-39	-9.8E-38	9.77E-38	1.49E-36
2.2	1.4764E-46	-1.476E-46	1.044E-46	-1.044E-46	-2.297E-46	2.2968E-46	1.48E-46	-3.1E-43	3.09E-43	-6.7E-42	6.66E-42	1.01E-40
2.3	6.1122E-51	-6.112E-51	4.322E-51	-4.322E-51	-9.941E-51	9.9406E-51	6.11E-51	-1.3E-47	1.34E-47	-2.9E-46	2.88E-46	4.39E-45
2.4	1.6096E-55	-1.61E-55	1.1381E-55	-1.1381E-55	-2.732E-55	2.7316E-55	1.61E-55	-3.7E-52	3.68E-52	-7.9E-51	7.92E-51	1.21E-49
2.5	2.6966E-60	-2.697E-60	1.9068E-60	-1.9068E-60	-4.767E-60	4.7669E-60	2.7E-60	-6.4E-57	6.41E-57	-1.4E-55	1.38E-55	2.11E-54



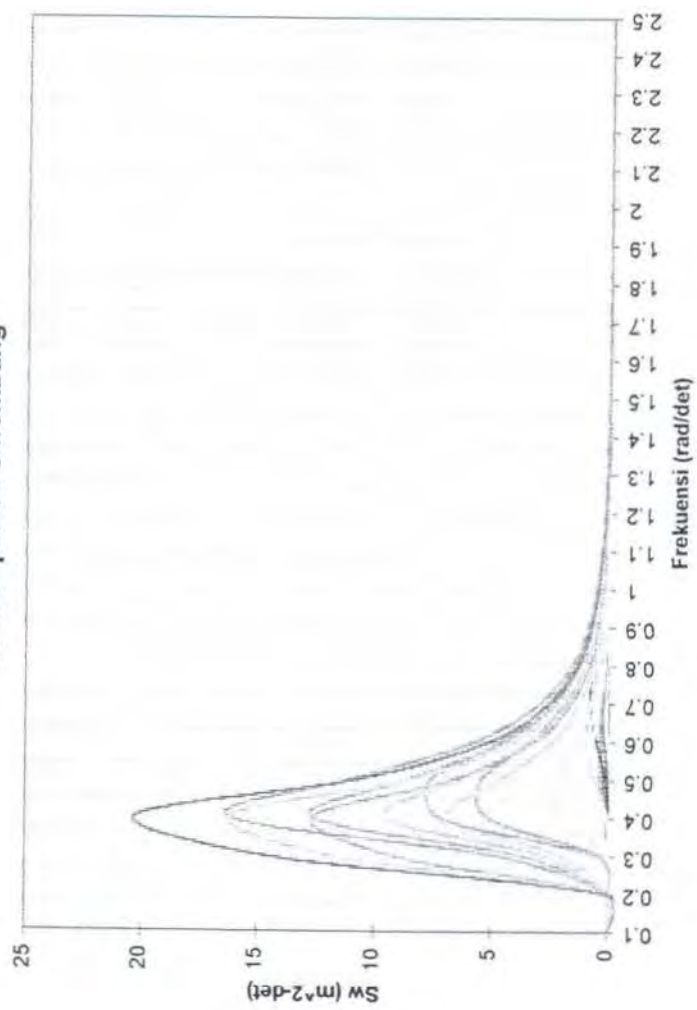
b3

w	u/coswt	v/sin wt	un max	vn max	anx	any	v	fx	fy	Fx	Fy	M
0.1	1.20680063	-1.2068006	0.0000	-0.85320805	0.0000	0.17066738	-0.85321	0.0000	570.7852	0.0000	17397.53	265138.4
0.2	1.25689308	-1.2568931	0.0000	-0.88862341	0.0000	0.35550305	-0.88862	0.0000	848.3973	0.0000	25859.15	394093.4
0.3	0.63549326	-0.6354933	0.0000	-0.44929373	0.0000	0.26961696	-0.44929	0.0000	457.3798	0.0000	13940.94	212459.9
0.4	0.18486708	-0.1848671	0.0000	-0.13070102	0.0000	0.10457661	-0.1307	0.0000	148.7173	0.0000	4532.903	69081.44
0.5	0.03263383	-0.0326338	0.0000	-0.02307212	0.0000	0.0230756	-0.02307	0.0000	31.29856	0.0000	953.9801	14538.66
0.6	0.00357961	-0.0035796	0.0000	-0.00253079	0.0000	0.0030374	-0.00253	0.0000	4.089943	0.0000	124.6615	1899.841
0.7	0.00024709	-0.0002471	0.0000	-0.00017469	0.0000	0.00024461	-0.00017	0.0000	0.329144	0.0000	10.03232	152.8926
0.8	1.0815E-05	-1.081E-05	0.0000	-7.646E-06	0.0000	1.2235E-05	-7.6E-06	0.0000	0.016463	0.0000	0.501801	7.647441
0.9	3.0159E-07	-3.016E-07	0.0000	-2.1323E-07	0.0000	3.8386E-07	-2.1E-07	0.0000	0.000517	0.0000	0.015743	0.239924
1	5.3767E-09	-5.377E-09	0.0000	-3.8013E-09	0.0000	7.6038E-09	-3.8E-09	0.0000	1.02E-05	0.0000	0.000312	0.004753
1.1	6.1424E-11	-6.142E-11	0.0000	-4.3427E-11	0.0000	9.5554E-11	-4.3E-11	0.0000	1.29E-07	0.0000	3.92E-06	5.97E-05
1.2	4.5045E-13	-4.505E-13	0.0000	-3.1847E-13	0.0000	7.6444E-13	-3.2E-13	0.0000	1.03E-09	0.0000	3.14E-08	4.78E-07
1.3	2.1233E-15	-2.123E-15	0.0000	-1.5012E-15	0.0000	3.9037E-15	-1.5E-15	0.0000	5.25E-12	0.0000	1.6E-10	2.44E-09
1.4	6.4402E-18	-6.44E-18	0.0000	-4.5532E-18	0.0000	1.2751E-17	-4.6E-18	0.0000	1.72E-14	0.0000	5.23E-13	7.97E-12
1.5	1.2579E-20	-1.258E-20	0.0000	-8.8933E-21	0.0000	2.6684E-20	-8.9E-21	0.0000	3.59E-17	0.0000	1.09E-15	1.67E-14
1.6	1.5832E-23	-1.583E-23	0.0000	-1.1193E-23	0.0000	3.5824E-23	-1.1E-23	0.0000	4.82E-20	0.0000	1.47E-18	2.24E-17
1.7	1.2848E-26	-1.285E-26	0.0000	-9.0835E-27	0.0000	3.0889E-26	-9.1E-27	0.0000	4.16E-23	0.0000	1.27E-21	1.93E-20
1.8	6.7252E-30	-6.725E-30	0.0000	-4.7547E-30	0.0000	1.712E-29	-4.8E-30	0.0000	2.3E-26	0.0000	7.02E-25	1.07E-23
1.9	2.2716E-33	-2.272E-33	0.0000	-1.606E-33	0.0000	6.1037E-33	-1.6E-33	0.0000	8.21E-30	0.0000	2.5E-28	3.81E-27
2	4.9526E-37	-4.953E-37	0.0000	-3.5015E-37	0.0000	1.4008E-36	-3.5E-37	0.0000	1.88E-33	0.0000	5.74E-32	8.76E-31
2.1	6.9716E-41	-6.972E-41	0.0000	-4.9289E-41	0.0000	2.0705E-40	-4.9E-41	0.0000	2.79E-37	0.0000	8.49E-36	1.29E-34
2.2	6.3378E-45	-6.338E-45	0.0000	-4.4808E-45	0.0000	1.9719E-44	-4.5E-45	0.0000	2.65E-41	0.0000	8.09E-40	1.23E-38
2.3	3.7217E-49	-3.722E-49	0.0000	-2.6312E-49	0.0000	1.2105E-48	-2.6E-49	0.0000	1.63E-45	0.0000	4.96E-44	7.57E-43
2.4	1.4119E-53	-1.412E-53	0.0000	-9.9821E-54	0.0000	4.7921E-53	-1E-53	0.0000	6.45E-50	0.0000	1.97E-48	3E-47
2.5	3.461E-58	-3.461E-58	0.0000	-2.4469E-58	0.0000	1.2236E-57	-2.4E-58	0.0000	1.65E-54	0.0000	5.02E-53	7.65E-52



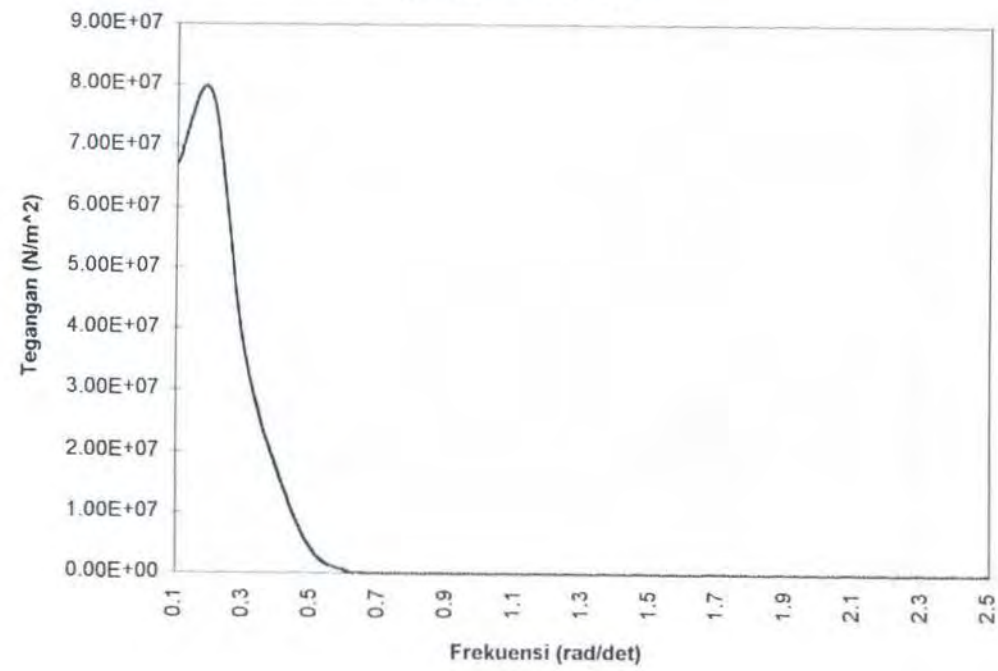
w	Mc	Mb	sigma c	sigma b	sigma tot
0.1	158602.6	506693	1229199	65866378	67095577
0.2	-402188	581379.9	3117026	75575130	78692156
0.3	-710845	243145.9	5509177	31607178	37116354
0.4	-346176	107982	2682929	14036872	16719801
0.5	-83521.1	24678.98	647303.5	3208086	3855390
0.6	-11942.9	3291.627	92559.29	427887.4	520446.7
0.7	-1081.62	268.8899	8382.739	34953.72	43336.46
0.8	-63.7477	13.73611	494.0565	1785.593	2279.65
0.9	-2.47579	0.444246	19.18779	57.74876	76.93655
1	-0.06369	0.009178	0.493584	1.193113	1.686697
1.1	-0.00109	0.000122	0.008419	0.015861	0.02428
1.2	-1.2E-05	1.05E-06	9.52E-05	0.000136	0.000232
1.3	-9.2E-08	5.88E-09	7.12E-07	7.64E-07	1.48E-06
1.4	-4.6E-10	2.15E-11	3.53E-09	2.79E-09	6.32E-09
1.5	-1.5E-12	5.16E-14	1.16E-11	6.7E-12	1.83E-11
1.6	-3.2E-15	8.13E-17	2.51E-14	1.06E-14	3.57E-14
1.7	-4.7E-18	8.44E-20	3.62E-17	1.1E-17	4.71E-17
1.8	-4.5E-21	5.79E-23	3.45E-20	7.52E-21	4.2E-20
1.9	-2.8E-24	2.62E-26	2.19E-23	3.4E-24	2.53E-23
2	-1.2E-27	7.81E-30	9.2E-27	1.01E-27	1.02E-26
2.1	-3.3E-31	1.54E-33	2.57E-30	2E-31	2.77E-30
2.2	-6.2E-35	1.99E-37	4.78E-34	2.59E-35	5.03E-34
2.3	-7.6E-39	1.7E-41	5.9E-38	2.22E-39	6.12E-38
2.4	-6.3E-43	9.59E-46	4.85E-42	1.25E-43	4.97E-42
2.5	-3.4E-47	3.55E-50	2.65E-46	4.61E-48	2.7E-46

Grafik Spektra Gelombang





Grafik RAO Tegangan



w	FS	Sr1	Sr1.FS	w.Sr1.FS	Sr2	Sr2.FS	w.Sr2.FS	Sr3	Sr3.FS	w.Sr3.FS	Sr4	Sr4.FS	w.Sr4.FS	Sr5	Sr5.FS	w.Sr5.FS
0.1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2	4	2.852E-202	1.141E-201	2.281E-202	7.7516E-73	3.1006E-72	6.2012E-73	1.6001E-26	6.4003E-26	1.2801E-26	1.141E-201	4.563E-201	9.126E-202	3.1006E-72	1.2402E-71	2.4805E-72
0.3	2	2.3731E-27	4.7462E-27	1.4239E-27	0.04280653	0.08561306	0.02568392	33569152	67138303.9	20141491.2	9.4924E-27	1.8985E-26	5.6954E-27	0.17122613	0.34245225	0.10273568
0.4	4	56.1860948	224.744379	89.8977517	2991291372	1.1965E+10	4786066196	1.1847E+12	4.7387E+12	1.8955E+12	224.744379	898.977517	359.591007	1.1965E+10	4.7861E+10	1.9144E+10
0.5	2	127239835	254479671	127239835	1.0975E+11	2.1951E+11	1.0975E+11	8.2692E+11	1.6538E+12	8.2692E+11	508959341	1017918682	508959341	4.3902E+11	8.7804E+11	4.3902E+11
0.6	4	765243950	3060975800	1836585480	1.2557E+10	5.023E+10	3.0138E+10	2.2797E+10	9.1187E+10	5.4712E+10	3060975800	1.2244E+10	7346341920	5.023E+10	2.0092E+11	1.2055E+11
0.7	2	43589099.9	87178199.8	61024739.8	130875044	261750088	183225062	129085919	258171838	180720287	174356400	348712799	244098959	523500177	1047000353	732900247
0.8	4	249930.734	999722.935	799778.348	329076.207	1316304.83	1053043.86	241393.567	965574.269	772459.415	999722.935	3998891.74	3199113.39	1316304.83	5265219.3	4212175.44
0.9	2	332.118768	664.237536	597.813783	281.996639	563.993278	507.59395	176.700149	353.400297	318.060267	1328.47507	2656.95015	2391.25513	1127.98656	2255.97311	2030.3758
1	4	0.14412011	0.57648046	0.57648046	0.09523566	0.38094266	0.38094266	0.05453621	0.21814486	0.21814486	0.57648046	2.30592184	2.30592184	0.38094266	1.52377064	1.52377064
1.1	2	2.3971E-05	4.7942E-05	5.2737E-05	1.3612E-05	2.7224E-05	2.9946E-05	7.3817E-06	1.4763E-05	1.624E-05	9.5885E-05	0.00019177	0.00021095	5.4448E-05	0.0001089	0.00011979
1.2	4	1.6615E-09	6.6461E-09	7.9753E-09	8.5711E-10	3.4285E-09	4.1141E-09	4.4905E-10	1.7962E-09	2.1554E-09	6.6461E-09	2.6584E-08	3.1901E-08	3.4285E-09	1.3714E-08	1.6457E-08
1.3	2	5.0334E-14	1.0067E-13	1.3087E-13	2.4375E-14	4.875E-14	6.3376E-14	1.2484E-14	2.4968E-14	3.2458E-14	2.0134E-13	4.0267E-13	5.2347E-13	9.7501E-14	1.95E-13	2.535E-13
1.4	4	6.8554E-19	2.7422E-18	3.839E-18	3.1803E-19	1.2721E-18	1.7809E-18	1.6038E-19	6.4153E-19	8.9815E-19	2.7422E-18	1.0969E-17	1.5356E-17	1.2721E-18	5.0884E-18	7.1238E-18
1.5	2	4.2665E-24	8.533E-24	1.2799E-23	1.9207E-24	3.8414E-24	5.7621E-24	9.5824E-25	1.9165E-24	2.8747E-24	1.7066E-23	3.4132E-23	5.1198E-23	7.6828E-24	1.5366E-23	2.3048E-23
1.6	4	1.223E-29	4.8919E-29	7.827E-29	5.3885E-30	2.1554E-29	3.4487E-29	2.6677E-30	1.0671E-29	1.7073E-29	4.8919E-29	1.9568E-28	3.1308E-28	2.1554E-29	8.6217E-29	1.3795E-28
1.7	2	1.618E-35	3.2361E-35	5.5013E-35	7.018E-36	1.4036E-35	2.3861E-35	3.4548E-36	6.9096E-36	1.1746E-35	6.4721E-35	1.2944E-34	2.2005E-34	2.8072E-35	5.6144E-35	9.5445E-35
1.8	4	9.8638E-42	3.9455E-41	7.102E-41	4.2286E-42	1.6914E-41	3.0446E-41	2.0729E-42	8.2915E-42	1.4925E-41	3.9455E-41	1.5782E-40	2.8408E-40	1.6914E-41	6.7657E-41	1.2178E-40
1.9	2	2.7603E-48	5.5206E-48	1.0489E-47	1.1729E-48	2.3458E-48	4.457E-48	5.7314E-49	1.1463E-48	2.1779E-48	1.1041E-47	2.2082E-47	4.1957E-47	4.6916E-48	9.3831E-48	1.7828E-47
2	4	3.5297E-55	1.4119E-54	2.8238E-54	1.4896E-55	5.9586E-55	1.1917E-54	7.2614E-56	2.9046E-55	5.8091E-55	1.4119E-54	5.6476E-54	1.1295E-53	5.9586E-55	2.3834E-54	4.7669E-54
2.1	2	2.0532E-62	4.1063E-62	8.6233E-62	8.6191E-63	1.7238E-62	3.62E-62	4.1935E-63	8.387E-63	1.7613E-62	8.2126E-62	1.6425E-61	3.4493E-61	3.4477E-62	6.8953E-62	1.448E-61
2.2	4	5.4105E-70	2.1642E-69	4.7612E-69	2.2619E-70	9.0474E-70	1.9904E-69	1.0988E-70	4.3953E-70	9.6696E-70	2.1642E-69	8.6568E-69	1.9045E-68	9.0474E-70	3.619E-69	7.9617E-69
2.3	2	6.4371E-78	1.2874E-77	2.9611E-77	2.6821E-78	5.3642E-78	1.2338E-77	1.3014E-78	2.6028E-78	5.9865E-78	2.5748E-77	5.1497E-77	1.1844E-76	1.0728E-77	2.1457E-77	4.935E-77
2.4	4	3.448E-86	1.3792E-85	3.31E-85	1.4328E-86	5.7312E-86	1.3755E-85	6.9455E-87	2.7782E-86	6.6677E-86	1.3792E-85	5.5167E-85	1.324E-84	5.7312E-86	2.2925E-85	5.5019E-85
2.5	1	8.2964E-95	8.2964E-95	2.0741E-94	3.44E-95	3.44E-95	8.6001E-95	1.6663E-95	1.6663E-95	4.1657E-95	3.3185E-94	3.3185E-94	8.2964E-94	1.376E-94	1.376E-94	3.44E-94

Jml 3403634283 2025650522 2.8197E+11 1.4486E+11 6.4841E+12 2.7773E+12 1.3615E+10 8102602087 1.1279E+12 5.7945E+11

mo 1= 113454476	mo 2= 9398924731	mo 3= 2.1614E+11	mo 4= 453817904	mo 5= 3.7596E+10
m2 1= 67521684.1	m2 2= 4828768599	m2 3= 9.2577E+10	m2 4= 270086736	m2 5= 1.9315E+10
sigma ext= 30509.4922	sigma ext= 256190.017	sigma ext= 1129135.53	sigma ext= 61018.9845	sigma ext= 512380.035



Sr6	Sr6.FS	w.Sr6.FS	Sr7	Sr7.FS	w.Sr7.FS	Sr8	Sr8.FS	w.Sr8.FS	Sr9	Sr9.FS	w.Sr9.FS	Sr10	Sr10.FS	w.Sr10.FS	Sr11				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.607E-201				
6.4003E-26	2.5601E-25	5.1202E-26	3.3739E-06	1.3496E-05	2.6991E-06	8.6128E-72	3.4451E-71	6.8903E-72	1.7779E-25	7.1114E-25	1.4223E-25	9.372E-06	3.7488E-05	7.4976E-06	27657.7592				
134276608	268553216	80565964.7	6.4387E+11	1.2877E+12	3.8632E+11	0.47562813	0.95125626	0.28537688	372990577	745981155	223794346	1.7885E+12	3.5771E+12	1.0731E+12	8.649E+13				
4.7387E+12	1.8955E+13	7.5819E+12	4.5418E+13	1.8167E+14	7.2669E+13	3.3237E+10	1.3295E+11	5.3179E+10	1.3163E+13	5.2652E+13	2.1061E+13	1.2616E+14	5.0465E+14	2.0186E+14	2.9877E+14				
3.3077E+12	6.6154E+12	3.3077E+12	5.8006E+12	1.1601E+13	5.8006E+12	1.2195E+12	2.439E+12	1.2195E+12	9.188E+12	1.8376E+13	9.188E+12	1.6113E+13	3.2226E+13	1.6113E+13	1.6733E+13				
9.1187E+10	3.6475E+11	2.1885E+11	6.8882E+10	3.4753E+11	2.0852E+11	1.3953E+11	5.5811E+11	3.3486E+11	2.533E+11	1.0132E+12	6.0791E+11	2.4134E+11	9.6536E+11	5.7922E+11	1.864E+11				
516343676	1032687352	722881146	378757302	757514603	530260222	1454167157	2908334314	2035834020	1434287989	2868575977	2008003184	1052103616	2104207231	1472945062	715720544				
965574.269	3862297.08	3089837.66	623854.594	2495418.37	1996334.7	3656402.29	14625609.2	11700487.3	2682150.75	10728603	8582882.39	1732929.43	6931717.71	5545374.17	1108437.85				
706.800594	1413.60119	1272.24107	426.832752	853.665503	768.298953	3133.29599	6266.59197	5639.93278	1963.33498	3926.66997	3534.00297	1185.64653	2371.29306	2134.16376	733.917333				
0.21814486	0.87257944	0.87257944	0.12674808	0.50699231	0.50699231	1.05817405	4.23269621	4.23269621	0.60595794	2.42383177	2.42383177	0.35207799	1.40831197	1.40831197	0.21389184				
2.9527E-05	5.9054E-05	6.4959E-05	1.676E-05	3.352E-05	3.6872E-05	0.00015124	0.00030249	0.00033274	8.2019E-05	0.00016404	0.00018044	4.6556E-05	9.3111E-05	0.00010242	2.7964E-05				
1.7962E-09	7.1848E-09	8.6218E-09	1.0046E-09	4.0184E-09	4.8221E-09	9.5235E-09	3.8094E-08	4.5713E-08	4.9894E-09	1.9958E-08	2.3949E-08	2.7905E-09	1.1162E-08	1.3395E-08	1.6642E-09				
4.9935E-14	9.987E-14	1.2983E-13	2.7658E-14	5.5316E-14	7.191E-14	2.7084E-13	5.4167E-13	7.0417E-13	1.3871E-13	2.7742E-13	3.6064E-13	7.6827E-14	1.5365E-13	1.9975E-13	4.5602E-14				
6.4153E-19	2.5661E-18	3.5926E-18	3.2599E-19	1.4119E-18	1.9767E-18	3.5336E-18	1.4134E-17	1.9788E-17	1.782E-18	7.1281E-18	9.9794E-18	9.8052E-19	3.9221E-18	5.4909E-18	5.8013E-19				
3.8329E-24	7.6659E-24	1.1499E-23	2.0992E-24	4.1985E-24	6.2977E-24	2.1341E-23	4.2682E-23	6.4023E-23	1.0647E-23	2.1294E-23	3.1941E-23	5.8312E-24	1.1662E-23	1.7494E-23	3.4424E-24				
1.0671E-29	4.2683E-29	6.8292E-29	5.8248E-30	2.3299E-29	3.7279E-29	5.9873E-29	2.3949E-28	3.8319E-28	2.9641E-29	1.1856E-28	1.897E-28	1.618E-29	6.472E-29	1.0355E-28	9.5364E-30				
1.3819E-35	2.7638E-35	4.6985E-35	7.5253E-36	1.5051E-35	2.5586E-35	7.7978E-35	1.5596E-34	2.6513E-34	3.8387E-35	7.6774E-35	1.3052E-34	2.0904E-35	4.1807E-35	7.1073E-35	1.2306E-35				
8.2915E-42	3.3166E-41	5.9699E-41	4.5071E-42	1.8028E-41	3.2451E-41	4.6984E-41	1.8794E-40	3.3829E-40	2.3032E-41	9.2128E-41	1.6583E-40	1.252E-41	5.0079E-41	9.0141E-41	7.3638E-42				
2.2925E-48	4.5851E-48	8.7117E-48	1.2445E-48	2.4889E-48	4.729E-48	1.3032E-47	2.6064E-47	4.9522E-47	6.3682E-48	1.2736E-47	2.4199E-47	3.4569E-48	6.9137E-48	1.3136E-47	2.0319E-48				
2.9046E-55	1.1618E-54	2.3237E-54	1.175E-55	6.3002E-55	1.26E-54	1.6552E-54	6.6206E-54	1.3241E-53	8.0682E-55	3.2273E-54	6.4546E-54	4.3751E-55	1.75E-54	3.5001E-54	2.5704E-55				
1.6774E-62	3.3548E-62	7.0451E-62	0.0885E-63	1.8177E-62	3.8172E-62	9.5768E-62	1.9154E-61	4.0223E-61	4.6594E-62	3.9189E-62	1.957E-61	2.5246E-62	5.0492E-62	1.0603E-61	1.4826E-62				
4.3953E-70	1.7581E-69	3.8678E-69	2.3799E-70	9.5197E-70	2.0943E-69	2.5132E-69	1.0053E-68	2.2116E-68	1.2209E-69	4.8836E-69	1.0744E-68	6.6109E-70	2.6444E-69	5.8176E-69	3.8811E-70				
5.2056E-78	1.0411E-77	2.3946E-77	2.8173E-78	5.6345E-78	1.2959E-77	2.9801E-77	5.9602E-77	1.3708E-76	1.446E-77	2.892E-77	6.6516E-77	7.8258E-78	1.5652E-77	3.5999E-77	4.5932E-78				
2.7782E-86	1.1113E-85	2.6671E-85	1.5029E-86	6.0118E-86	1.4428E-85	1.592E-85	6.368E-85	1.5283E-84	7.7173E-86	3.0869E-85	7.4086E-85	4.1748E-86	1.6699E-85	4.0079E-85	2.4499E-86				
6.6651E-95	6.6651E-95	1.6663E-94	3.6045E-95	3.6045E-95	9.0112E-95	3.8223E-94	3.8223E-94	9.5557E-94	1.8514E-94	1.8514E-94	4.6286E-94	1.0012E-94	1.0012E-94	2.5031E-94	5.8745E-95				
2.5936E+13		1.1109E+13		1.9491E+14		7.9065E+13		3.133E+12		1.6096E+12		7.2045E+13		3.0859E+13		5.4142E+14		2.1963E+14	
mo 6= 8.6454E+11			mo 7= 6.497E+12			mo 8= 1.0443E+11			mo 9= 2.4015E+12			mo 10= 1.8047E+13							
m2 6= 3.7031E+11			m2 7= 2.6355E+12			m2 8= 5.3653E+10			m2 9= 1.0286E+12			m2 10= 7.3209E+12							
sigma ext= 2258271.05			sigma ext= 5894472.28			sigma ext= 853966.724			sigma ext= 3763785.09			sigma ext= 9824120.47							



Sr11.FS	w.Sr11.FS	Sr12	Sr12.FS	w.Sr12.FS	Sr13	Sr13.FS	w.Sr13.FS	Sr14	Sr14.FS	w.Sr14.FS	Sr15	Sr15.FS	w.Sr15.FS	Sr16	Sr16.FS
4.607E-201	4.607E-202	0	0	0	0	0	0	9.03E-201	9.03E-201	9.03E-202	0	0	0	1.493E-200	1.493E-200
110631.037	22126.2073	3.4846E-25	1.3938E-24	2.7877E-25	1.8369E-05	7.3476E-05	1.4695E-05	54209.208	216836.832	43367.3664	3.0365E-05	0.00012146	2.4292E-05	89611.1397	358444.559
1.7298E+14	5.1894E+13	731061532	1462123064	438636919	3.5055E+12	7.0111E+12	2.1033E+12	1.6952E+14	3.3904E+14	1.0171E+14	5.7949E+12	1.159E+13	3.4769E+12	2.8023E+14	5.6045E+14
1.1951E+15	4.7803E+14	2.58E+13	1.032E+14	4.1279E+13	2.4728E+14	9.8911E+14	3.9564E+14	5.8558E+14	2.3423E+15	9.3693E+14	4.0877E+14	1.6351E+15	6.5402E+14	9.6801E+14	3.872E+15
3.3466E+13	1.6733E+13	1.8009E+13	3.6017E+13	1.8009E+13	3.1581E+13	6.3162E+13	3.1581E+13	3.2797E+13	6.5593E+13	3.2797E+13	5.2206E+13	1.0441E+14	5.2206E+13	5.4215E+13	1.0843E+14
7.4559E+11	4.4735E+11	4.9646E+11	1.9858E+12	1.1915E+12	4.7303E+11	1.8921E+12	1.1353E+12	3.6534E+11	1.4614E+12	8.7681E+11	7.8194E+11	3.1278E+12	1.8767E+12	6.0393E+11	2.4157E+12
1431441088	1002008762	2811204458	5622408915	3935686241	2062123087	4124246173	2886972321	1402812266	2805624533	1963937173	3408815715	6817631429	4772342000	2318934563	4637869125
4433751.41	3547001.13	5257015.46	21028061.9	16822449.5	3396541.68	13586166.7	10868933.4	2172538.19	8690152.77	6952122.22	5614691.34	22458765.4	17967012.3	3591338.64	14365354.6
1467.83467	1321.0512	3848.13657	7696.27314	6926.64582	2323.8672	4647.73441	4182.96097	1438.47797	2876.95594	2589.26035	3841.49476	7682.98953	6914.69057	2377.89216	4755.78432
0.85556736	0.85556736	1.18767757	4.75071027	4.75071027	0.69007286	2.76029146	2.76029146	0.41922801	1.67691203	1.67691203	1.14073269	4.56293078	4.56293078	0.69300956	2.77203826
5.5929E-05	6.1522E-05	0.00016076	0.00032151	0.00035367	9.1249E-05	0.0001825	0.00020075	5.481E-05	0.00010962	0.00012058	0.00015084	0.00030168	0.00033185	9.0605E-05	0.00018121
6.6568E-09	7.9882E-09	9.7793E-09	3.9117E-08	4.6941E-08	5.4695E-09	2.1878E-08	2.6253E-08	3.2618E-09	1.3047E-08	1.5657E-08	9.0414E-09	3.6165E-08	4.3399E-08	5.392E-09	2.1568E-08
9.1204E-14	1.1856E-13	2.7187E-13	5.4374E-13	7.0686E-13	1.5058E-13	3.0116E-13	3.9151E-13	8.938E-14	1.7876E-13	2.3239E-13	2.4892E-13	4.9784E-13	6.4719E-13	1.4775E-13	2.955E-13
2.3205E-18	3.2487E-18	3.4928E-18	1.3971E-17	1.956E-17	1.9218E-18	7.6872E-18	1.0762E-17	1.1371E-18	4.5482E-18	6.3675E-18	3.1769E-18	1.2707E-17	1.779E-17	1.8796E-18	7.5185E-18
6.8848E-24	1.0327E-23	2.0868E-23	4.1736E-23	6.2605E-23	1.1429E-23	2.2858E-23	3.4288E-23	6.7471E-24	1.3494E-23	2.0241E-23	1.8893E-23	3.7786E-23	5.668E-23	1.1153E-23	2.2307E-23
3.8145E-29	6.1033E-29	5.8096E-29	2.3238E-28	3.7181E-28	3.1713E-29	1.2685E-28	2.0296E-28	1.8691E-29	7.4765E-29	1.1962E-28	5.2424E-29	2.0969E-28	3.3551E-28	3.0898E-29	1.2359E-28
2.4612E-35	4.184E-35	7.5238E-35	1.5048E-34	2.5581E-34	4.0971E-35	8.1943E-35	1.393E-34	2.412E-35	4.8239E-35	8.2007E-35	6.7728E-35	1.3546E-34	2.3028E-34	3.9871E-35	7.9743E-35
2.9455E-41	5.302E-41	4.5143E-41	1.8057E-40	3.2503E-40	2.4539E-41	9.8154E-41	1.7668E-40	1.4433E-41	5.7732E-41	1.0392E-40	4.0564E-41	1.6225E-40	2.9206E-40	2.3859E-41	9.5435E-41
4.0638E-48	7.7213E-48	1.2482E-47	2.4963E-47	4.743E-47	6.7754E-48	1.3551E-47	2.5747E-47	3.9825E-48	7.9651E-48	1.5134E-47	1.12E-47	2.24E-47	4.2561E-47	6.5834E-48	1.3167E-47
1.0281E-54	2.0563E-54	1.5814E-54	6.3255E-54	1.2651E-53	8.5752E-55	3.4301E-54	6.8602E-54	5.0379E-55	2.0152E-54	4.0303E-54	1.4175E-54	5.6702E-54	1.134E-53	8.3279E-55	3.3312E-54
2.9652E-62	6.2269E-62	9.1325E-62	1.8265E-61	3.8356E-61	4.9482E-62	9.8964E-62	2.0782E-61	2.9059E-62	5.8117E-62	1.2205E-61	8.1797E-62	1.6359E-61	3.4355E-61	4.8036E-62	9.6072E-62
1.5524E-69	3.4154E-69	2.393E-69	9.5719E-69	2.1058E-68	1.2957E-69	5.1829E-69	1.1402E-68	7.607E-70	3.0428E-69	6.6941E-69	2.1419E-69	8.5677E-69	1.8849E-68	1.2575E-69	5.0299E-69
9.1864E-78	2.1129E-77	2.8342E-77	5.6684E-77	1.3037E-76	1.5338E-77	3.0677E-77	7.0557E-77	9.0026E-78	1.8005E-77	4.1412E-77	2.5355E-77	5.0711E-77	1.1664E-76	1.4882E-77	2.9764E-77
9.7994E-86	2.3519E-85	1.5126E-85	6.0503E-85	1.4521E-84	8.1827E-86	3.2731E-85	7.8554E-85	4.8017E-86	1.9207E-85	4.6097E-85	1.3527E-85	5.4106E-85	1.2985E-84	7.9375E-86	3.175E-85
5.8745E-95	1.4686E-94	3.6288E-94	3.6288E-94	9.072E-94	1.9624E-94	1.9624E-94	4.9061E-94	1.1514E-94	1.1514E-94	2.8785E-94	3.244E-94	3.244E-94	8.1101E-94	1.9033E-94	1.9033E-94
1.4023E+15	5.471E+14		1.4121E+14	6.0484E+13		1.0612E+15	4.3047E+14		2.7484E+15	1.0723E+15		1.7542E+15	7.1159E+14		4.5433E+15

mo 11= 4.6742E+13	mo 12= 4.707E+12	mo 13= 3.5373E+13	mo 14= 9.1614E+13	mo 15= 5.8473E+13	mo 16=
m2 11= 1.8237E+13	m2 12= 2.0161E+12	m2 13= 1.4349E+13	m2 14= 3.5744E+13	m2 15= 2.372E+13	m2 16=
sigma ext= 15151020.5	sigma ext= 5269299.12	sigma ext= 13753768.7	sigma ext= 21211428.7	sigma ext= 17683416.8	sigma ext=



w.Sr16.FS	Sr17	Sr17.FS	w.Sr17.FS	Sr18	Sr18.FS	w.Sr18.FS	Sr19	Sr19.FS	w.Sr19.FS	Sr20	Sr20.FS	w.Sr20.FS	Sr21	Sr21.FS	w.Sr21.FS
1.493E-201	2.23E-200	2.23E-200	2.23E-201	5.711E-118	5.711E-118	5.711E-119	3.114E-200	3.114E-200	3.114E-201	7.976E-118	7.976E-118	7.976E-119	1.062E-117	1.062E-117	1.062E-118
71688.9118	133863.554	535454.218	107090.844	1.2172E+10	4.8689E+10	9737707822	186966.452	747865.808	149573.162	1.7001E+10	6.8003E+10	1.3601E+10	2.2634E+10	9.0537E+10	1.8107E+10
1.6814E+14	4.1861E+14	8.3722E+14	2.5117E+14	2.736E+15	5.472E+15	1.6416E+15	5.8467E+14	1.1693E+15	3.508E+14	3.8213E+15	7.6427E+15	2.2928E+15	5.0876E+15	1.0175E+16	3.0526E+15
1.5488E+15	1.446E+15	5.7841E+15	2.3137E+15	1.8979E+15	7.5916E+15	3.0367E+15	2.0197E+15	8.0787E+15	3.2315E+15	2.6508E+15	1.0603E+16	4.2413E+15	3.5292E+15	1.4117E+16	5.6467E+15
5.4215E+13	8.0988E+13	1.6198E+14	8.0988E+13	6.8547E+13	1.3709E+14	6.8547E+13	1.1312E+14	2.2623E+14	1.1312E+14	9.574E+13	1.9148E+14	9.574E+13	1.2746E+14	2.5493E+14	1.2746E+14
1.4494E+12	9.0216E+11	3.6086E+12	2.1652E+12	6.5226E+11	2.609E+12	1.5654E+12	1.26E+12	5.0402E+12	3.0241E+12	9.11E+11	3.644E+12	2.1864E+12	1.2129E+12	4.8515E+12	2.9109E+12
3246508388	3464087433	6928174866	4849722406	2340919693	4681839387	3277287571	4838270877	9676541755	6773579228	3269548993	6539097987	4577368591	4352949843	8705899687	6094129781
11492283.7	5364839.21	21459356.8	17167485.5	3508454.25	14033817	11227053.6	7493039.89	29972159.5	23977727.6	4900237.75	19600951	15680760.8	6523985.17	26095940.7	20876752.6
4280.20589	3552.15989	7104.31978	6393.8878	2282.83197	4565.66395	4109.09755	4961.28117	9922.56234	8930.30611	3188.41821	6376.83642	5739.15278	4244.93549	8489.87098	7640.88388
2.77203826	1.03523651	4.14094604	4.14094604	0.65870475	2.63481899	2.63481899	1.44590884	5.78363538	5.78363538	0.92000911	3.68003644	3.68003644	1.2248642	4.8994568	4.8994568
0.00019933	0.00013535	0.0002707	0.00029777	8.5602E-05	0.0001712	0.00018832	0.00018904	0.00037808	0.00041589	0.00011956	0.00023912	0.00026303	0.00015918	0.00031836	0.00035019
2.5882E-08	8.0548E-09	3.2219E-08	3.8663E-08	5.0749E-09	2.03E-08	2.4359E-08	1.125E-08	4.5E-08	5.4E-08	7.0881E-09	2.8352E-08	3.4023E-08	9.4368E-09	3.7747E-08	4.5297E-08
3.8415E-13	2.2071E-13	4.4143E-13	5.7385E-13	1.3871E-13	2.7742E-13	3.6065E-13	3.0827E-13	6.1654E-13	8.015E-13	1.9374E-13	3.8747E-13	5.0372E-13	2.5793E-13	5.1587E-13	6.7063E-13
1.0526E-17	2.8078E-18	1.1231E-17	1.5724E-17	1.7616E-18	7.0465E-18	9.8651E-18	3.9217E-18	1.5687E-17	2.1962E-17	2.4605E-18	9.8418E-18	1.3779E-17	3.2757E-18	1.3103E-17	1.8344E-17
3.346E-23	1.6661E-23	3.3322E-23	4.9983E-23	1.0441E-23	2.0881E-23	3.1322E-23	2.327E-23	4.6541E-23	6.9811E-23	1.4582E-23	2.9165E-23	4.3747E-23	1.9414E-23	3.8829E-23	5.8243E-23
1.9775E-28	4.6156E-29	1.8462E-28	2.954E-28	2.8899E-29	1.1559E-28	1.8495E-28	6.4466E-29	2.5786E-28	4.1258E-28	4.0363E-29	1.6145E-28	2.5832E-28	5.3737E-29	2.1495E-28	3.4392E-28
1.3556E-34	5.9561E-35	1.1912E-34	2.0251E-34	3.7268E-35	7.4537E-35	1.2671E-34	8.3188E-35	1.6638E-34	2.8284E-34	5.2052E-35	1.041E-34	1.7698E-34	6.9301E-35	1.386E-34	2.3562E-34
1.7178E-40	3.5641E-41	1.4256E-40	2.5661E-40	2.2291E-41	8.9163E-41	1.6049E-40	4.9779E-41	1.9912E-40	3.5841E-40	3.1133E-41	1.2453E-40	2.2416E-40	4.145E-41	1.658E-40	2.9844E-40
2.5017E-47	9.8345E-48	1.9669E-47	3.7371E-47	6.1486E-48	1.2297E-47	2.3365E-47	1.3736E-47	2.7471E-47	5.2196E-47	8.5877E-48	1.7175E-47	3.2633E-47	1.1433E-47	2.2867E-47	4.3447E-47
6.6624E-54	1.2441E-54	4.9762E-54	9.9524E-54	7.7758E-55	3.1103E-54	6.2206E-54	1.7376E-54	6.9502E-54	1.39E-53	1.086E-54	4.3442E-54	8.6883E-54	1.4459E-54	5.7836E-54	1.1567E-53
2.0175E-61	7.1757E-62	1.4351E-61	3.0138E-61	4.4842E-62	8.9683E-62	1.8833E-61	1.0022E-61	2.0045E-61	4.2094E-61	6.263E-62	1.2526E-61	2.6305E-61	8.3383E-62	1.6677E-61	3.5021E-61
1.1066E-68	1.8785E-69	7.5138E-69	1.653E-68	1.1737E-69	4.6946E-69	1.0328E-68	2.6236E-69	1.0495E-68	2.3088E-68	1.6392E-69	6.557E-69	1.4425E-68	2.1824E-69	8.7297E-69	1.9205E-68
6.8457E-77	2.2231E-77	4.4462E-77	1.0226E-76	1.3888E-77	2.7776E-77	6.3885E-77	3.105E-77	6.21E-77	1.4283E-76	1.9397E-77	3.8795E-77	8.9228E-77	2.5825E-77	5.165E-77	1.188E-76
7.62E-85	1.1857E-85	4.7429E-85	1.1383E-84	7.4067E-86	2.9627E-85	7.1104E-85	1.6561E-85	6.6244E-85	1.5899E-84	1.0345E-85	4.138E-85	9.9311E-85	1.3773E-85	5.5091E-85	1.3222E-84
4.7583E-94	2.8432E-94	2.8432E-94	7.1081E-94	1.7759E-94	1.7759E-94	4.4397E-94	3.9711E-94	3.9711E-94	9.9278E-94	2.4804E-94	2.4804E-94	6.2009E-94	3.3023E-94	3.3023E-94	8.2557E-94
1.7726E+15		6.787E+15	2.648E+15		1.3203E+16	4.7484E+15		9.4793E+15	3.6984E+15		1.8441E+16	6.632E+15		2.4552E+16	8.8296E+15
1.5144E+14		mo 17= 2.2623E+14		mo 18= 4.4011E+14		mo 19= 3.1598E+14		mo 20= 6.147E+14		mo 21= 8.1839E+14					
5.9087E+13		m2 17= 8.8266E+13		m2 18= 1.5828E+14		m2 19= 1.2328E+14		m2 20= 2.2107E+14		m2 21= 2.9432E+14					
27271836.9		sigma ext= 33332245.1		sigma ext= 44167899.6		sigma ext= 39392653.3		sigma ext= 52198426.8		sigma ext= 60228954					



Sr22	Sr22.FS	w.Sr22.FS	Sr23	Sr23.FS	w.Sr23.FS	Sr24	Sr24.FS	w.Sr24.FS	Sr25	Sr25.FS	w.Sr25.FS
1.1271E-70	1.1271E-70	1.1271E-71	1.364E-117	1.364E-117	1.364E-118	1.4476E-70	1.4476E-70	1.4476E-71	1.8083E-70	1.8083E-70	1.8083E-71
1.3252E+13	5.3009E+13	1.0602E+13	2.9072E+10	1.1629E+11	2.3258E+10	1.7022E+13	6.8087E+13	1.3617E+13	2.1262E+13	8.505E+13	1.701E+13
1.2773E+16	2.5547E+16	7.6641E+15	6.5347E+15	1.3069E+16	3.9208E+15	1.6407E+16	3.2814E+16	9.8441E+15	2.0494E+16	4.0989E+16	1.2297E+16
3.5404E+15	1.4162E+16	5.6646E+15	4.533E+15	1.8132E+16	7.2528E+15	4.5474E+15	1.819E+16	7.2759E+15	5.6804E+15	2.2722E+16	9.0886E+15
9.9516E+13	1.9903E+14	9.9516E+13	1.6372E+14	3.2744E+14	1.6372E+14	1.2782E+14	2.5564E+14	1.2782E+14	1.5967E+14	3.1934E+14	1.5967E+14
8.6539E+11	3.4616E+12	2.0769E+12	1.5579E+12	6.2315E+12	3.7389E+12	1.1115E+12	4.4462E+12	2.6677E+12	1.3885E+12	5.5539E+12	3.3323E+12
2988242773	5976485545	4183539882	5591122243	1.1182E+10	7827571140	3838231828	7676463656	5373524559	4794469515	9588939030	6712257321
4395503.3	17582013.2	14065610.6	8379696.51	33518786	26815028.8	5645779.79	22583119.2	18066495.3	7052340.85	28209363.4	22567490.7
2831.63005	5663.2601	5096.93409	5452.38381	10904.7676	9814.29085	3637.07148	7274.14297	6546.72867	4543.1931	9086.3862	8177.74758
0.81241675	3.24966699	3.24966699	1.57327002	6.29308006	6.29308006	1.04350418	4.17401671	4.17401671	1.30347754	5.21391015	5.21391015
0.00010521	0.00021043	0.00023147	0.00020445	0.00040891	0.0004498	0.00013514	0.00027028	0.00029731	0.00016881	0.00033762	0.00037138
6.224E-09	2.4896E-08	2.9875E-08	1.2121E-08	4.8484E-08	5.8181E-08	7.9944E-09	3.1978E-08	3.8373E-08	9.9861E-09	3.9944E-08	4.7933E-08
1.6988E-13	3.3975E-13	4.4168E-13	3.313E-13	6.626E-13	8.6138E-13	2.182E-13	4.3639E-13	5.6731E-13	2.7256E-13	5.4511E-13	7.0865E-13
2.1553E-18	8.6212E-18	1.207E-17	4.2075E-18	1.683E-17	2.3562E-17	2.7684E-18	1.1073E-17	1.5503E-17	3.4581E-18	1.3832E-17	1.9365E-17
1.2765E-23	2.553E-23	3.8295E-23	2.4937E-23	4.9873E-23	7.481E-23	1.6396E-23	3.2792E-23	4.9188E-23	2.0481E-23	4.0962E-23	6.1443E-23
3.5316E-29	1.4126E-28	2.2602E-28	6.9023E-29	2.7609E-28	4.4174E-28	4.5361E-29	1.8144E-28	2.9031E-28	5.6662E-29	2.2665E-28	3.6264E-28
4.5527E-35	9.1055E-35	1.5479E-34	8.9013E-35	1.7803E-34	3.0264E-34	5.8477E-35	1.1695E-34	1.9882E-34	7.3046E-35	1.4609E-34	2.4836E-34
2.7223E-41	1.0889E-40	1.9601E-40	5.324E-41	2.1296E-40	3.8333E-40	3.4967E-41	1.3987E-40	2.5176E-40	4.3678E-41	1.7471E-40	3.1448E-40
7.5076E-48	1.5015E-47	2.8529E-47	1.4685E-47	2.9371E-47	5.5805E-47	9.6431E-48	1.9286E-47	3.6644E-47	1.2046E-47	2.4091E-47	4.5773E-47
9.4931E-55	3.7972E-54	7.5945E-54	1.8572E-54	7.4288E-54	1.4858E-53	1.2193E-54	4.8773E-54	9.7547E-54	1.5231E-54	6.0924E-54	1.2185E-53
5.4738E-62	1.0948E-61	2.299E-61	1.071E-61	2.142E-61	4.4982E-61	7.0308E-62	1.4062E-61	2.9529E-61	8.7824E-62	1.7565E-61	3.6886E-61
1.4326E-69	5.7302E-69	1.2606E-68	2.8032E-69	1.1213E-68	2.4668E-68	1.84E-69	7.3602E-69	1.6192E-68	2.2985E-69	9.1938E-69	2.0226E-68
1.695E-77	3.3901E-77	7.7972E-77	3.3171E-77	6.6342E-77	1.5259E-76	2.1772E-77	4.3544E-77	1.0015E-76	2.7196E-77	5.4392E-77	1.251E-76
9.0393E-86	3.6157E-85	8.6777E-85	1.769E-85	7.0762E-85	1.6983E-84	1.161E-85	4.6442E-85	1.1146E-84	1.4503E-85	5.8012E-85	1.3923E-84
2.1672E-94	2.1672E-94	5.4181E-94	4.2416E-94	4.2416E-94	1.0604E-93	2.7837E-94	2.7837E-94	6.9592E-94	3.4772E-94	3.4772E-94	8.693E-94
	3.9964E+16	1.3441E+16		3.1535E+16	1.1341E+16		5.1332E+16	1.7264E+16		6.412E+16	2.1565E+16

mo 22= 1.3321E+15  
m2 22= 4.4803E+14  
sigma ext= 73379539.1

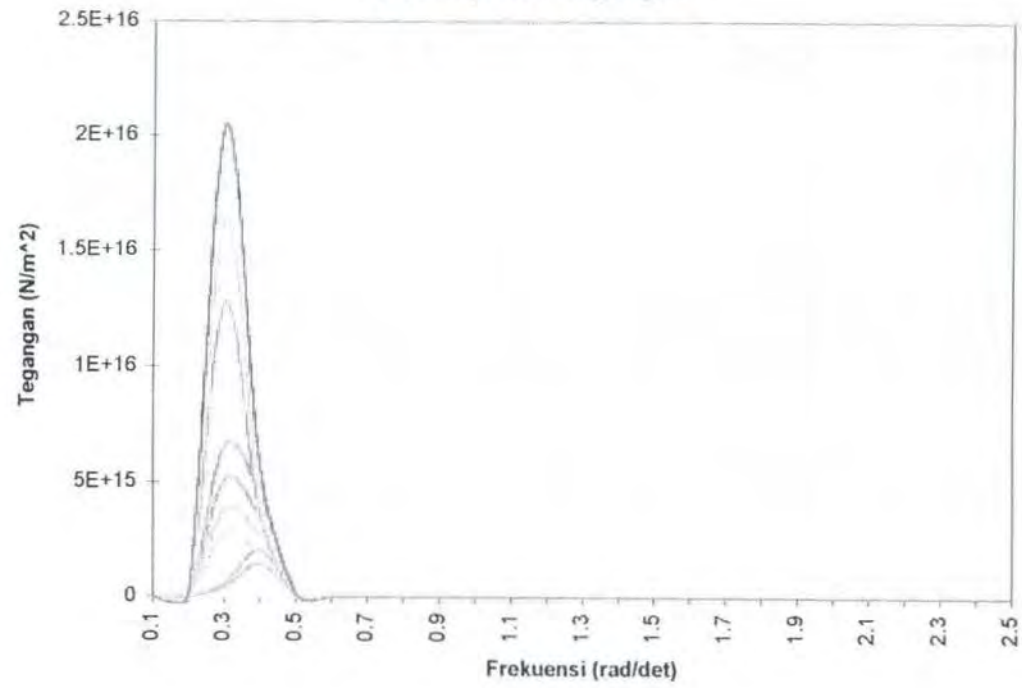
mo 23= 1.0512E+15  
m2 23= 3.7804E+14  
sigma ext= 68259481.3

mo 24= 1.7111E+15  
m2 24= 5.7547E+14  
sigma ext= 83163477.6

mo 25= 2.1373E+15  
m2 25= 7.1884E+14  
sigma ext= 92947416.2



Grafik Spektra Tegangan



Sea State	To	Probability of Occurance	mo	Number of Cycles	0 -9	9 -18	18 -27	27 -36	36 -45	45 -54	54 -63	63 -72
1	6	0.02717	1.13E+08	2856110.4	2.86E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2	6	0.07524	9.4E+09	7909228.8	7.91E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3	7.5	0.04547	2.16E+11	3823845.12	3.82E+06	1.60E-75	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4	7.5	0.15611	4.54E+08	13128226.56	1.31E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
5	7.5	0.08401	3.76E+10	7064904.96	7.06E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
6	9	0.01711	8.65E+11	1199068.8	1.20E+06	5.42E-15	5.01E-76	9.46E-178	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
7	9	0.11292	6.5E+12	7913433.6	7.90E+06	1.55E+04	1.17E-04	3.41E-18	3.83E-37	1.65E-61	2.74E-91	1.75E-126
8	9	0.12028	1.04E+11	8429222.4	8.43E+06	3.18E-162	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9	9	0.05814	2.4E+12	4074451.2	4.07E+06	1.93E-01	2.06E-23	4.93E-60	2.66E-111	3.22E-177	8.75E-258	0.00E+00
10	10.5	0.04688	1.8E+13	2816014.629	2.52E+06	2.98E+05	3.56E+02	4.77E-03	7.18E-10	1.21E-18	2.31E-29	4.94E-42
11	10.5	0.06745	4.67E+13	4051625.143	2.35E+06	1.58E+06	1.25E+05	1.66E+03	3.86E+00	1.59E-03	1.15E-07	1.48E-12
12	10.5	0.05099	4.71E+12	3062896.457	3.06E+06	5.61E+02	3.46E-09	7.16E-28	4.98E-54	1.17E-87	9.15E-129	2.42E-177
13	10.5	0.02566	3.54E+13	1541359.543	1.05E+06	4.75E+05	1.58E+04	5.16E+01	1.71E-02	5.71E-07	1.94E-12	6.65E-19
14	12	0.02923	9.16E+13	1536328.8	5.49E+05	7.25E+05	2.33E+05	2.74E+04	1.28E+03	2.42E+01	1.88E-01	6.00E-04
15	12	0.02598	5.85E+13	1365508.8	6.82E+05	5.98E+05	8.28E+04	2.66E+03	2.10E+01	4.12E-02	2.02E-05	2.49E-09
16	12	0.01981	1.51E+14	1041213.6	2.44E+05	4.40E+05	2.63E+05	7.94E+04	1.31E+04	1.23E+03	6.65E+01	2.08E+00
17	12	0.01407	2.26E+14	739519.2	1.21E+05	2.57E+05	2.14E+05	1.05E+05	3.37E+04	7.24E+03	1.06E+03	1.07E+02
18	12	0.00509	4.4E+14	267530.4	2.35E+04	5.89E+04	6.83E+04	5.55E+04	3.46E+04	1.71E+04	6.80E+03	2.20E+03
19	13.5	0.00747	3.16E+14	348998.4	4.20E+04	9.80E+04	9.89E+04	6.52E+04	3.07E+04	1.07E+04	2.80E+03	5.58E+02
20	13.5	0.00444	6.15E+14	207436.8	1.32E+04	3.48E+04	4.47E+04	4.24E+04	3.23E+04	2.06E+04	1.11E+04	5.16E+03
21	13.5	0.00249	8.18E+14	116332.8	5.62E+03	1.53E+04	2.09E+04	2.18E+04	1.89E+04	1.42E+04	9.29E+03	5.39E+03
22	13.5	0.00097	1.33E+15	45318.4	1.36E+03	3.83E+03	5.66E+03	6.61E+03	6.67E+03	6.02E+03	4.95E+03	3.74E+03
23	15	0.0013	1.05E+15	54662.4	2.07E+03	5.74E+03	8.21E+03	9.14E+03	8.65E+03	7.21E+03	5.38E+03	3.63E+03
24	15	0.00076	1.71E+15	31956.48	7.48E+02	2.14E+03	3.24E+03	3.94E+03	4.20E+03	4.05E+03	3.61E+03	2.99E+03
25	15	0.00097	2.14E+15	40786.56	7.66E+02	2.21E+03	3.42E+03	4.27E+03	4.72E+03	4.78E+03	4.50E+03	3.99E+03
ni=					67047899.02	4606187.569	1187813.625	425529.2718	188987.0281	93103.83387	49603.05864	27780.64533



72 -81	81 -90	90 -99	99 -108	108 -117	117 -126	126 -135	135 -144	144 -153	153 -162	162 -171	171 -180
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4.32E-167	4.10E-213	1.50E-264	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.19E-56	3.21E-73	9.76E-92	3.33E-112	1.28E-134	5.52E-159	2.68E-185	1.46E-213	8.94E-244	6.16E-276	0.00E+00	0.00E+00
3.35E-18	1.34E-24	9.50E-32	1.19E-39	2.64E-48	1.03E-57	7.13E-68	8.72E-79	1.89E-90	7.21E-103	4.87E-116	5.81E-130
2.15E-233	6.40E-297	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2.31E-26	8.15E-35	2.91E-44	1.05E-54	3.84E-66	1.42E-78	5.34E-92	2.03E-106	7.81E-122	3.05E-138	1.20E-155	4.81E-174
7.92E-07	4.32E-10	9.72E-14	9.03E-18	3.47E-22	5.50E-27	3.60E-32	9.75E-38	1.09E-43	5.03E-50	9.60E-57	7.56E-64
7.65E-14	5.89E-19	1.13E-24	5.47E-31	6.60E-38	1.99E-45	1.51E-53	2.85E-62	1.35E-71	1.60E-81	4.73E-92	3.51E-103
3.80E-02	4.05E-04	2.52E-06	9.19E-09	1.96E-11	2.45E-14	1.79E-17	7.69E-21	1.93E-24	2.84E-28	2.44E-32	1.23E-36
7.45E+00	3.60E-01	1.21E-02	2.85E-04	4.66E-06	5.32E-08	4.25E-10	2.37E-12	9.21E-15	2.51E-17	4.77E-20	6.33E-23
5.86E+02	1.28E+02	2.31E+01	3.43E+00	4.23E-01	4.32E-02	3.66E-03	2.57E-04	1.50E-05	7.24E-07	2.91E-08	9.73E-10
8.47E+01	9.87E+00	8.83E-01	6.08E-02	3.23E-03	1.32E-04	4.19E-06	1.02E-07	1.93E-09	2.82E-11	3.19E-13	2.78E-15
2.06E+03	7.13E+02	2.14E+02	5.58E+01	1.27E+01	2.52E+00	4.36E-01	6.58E-02	8.70E-03	1.00E-03	1.01E-04	8.97E-06
2.79E+03	1.29E+03	5.33E+02	1.98E+02	6.64E+01	2.00E+01	5.43E+00	1.33E+00	2.95E-01	5.89E-02	1.06E-02	1.73E-03
2.61E+03	1.69E+03	1.02E+03	5.76E+02	3.03E+02	1.49E+02	6.86E+01	2.96E+01	1.20E+01	4.54E+00	1.61E+00	5.39E-01
2.23E+03	1.25E+03	6.43E+02	3.04E+02	1.32E+02	5.25E+01	1.93E+01	6.55E+00	2.05E+00	5.91E-01	1.57E-01	3.87E-02
2.33E+03	1.70E+03	1.17E+03	7.65E+02	4.72E+02	2.76E+02	1.53E+02	8.08E+01	4.05E+01	1.93E+01	8.71E+00	3.75E+00
3.34E+03	2.66E+03	2.01E+03	1.46E+03	1.01E+03	6.64E+02	4.20E+02	2.55E+02	1.48E+02	8.28E+01	4.43E+01	2.28E+01
16038.68881	9443.790412	5623.847122	3357.221477	1991.350032	1164.641578	667.5616793	373.3475272	203.0817508	107.1928685	54.81075934	27.1156095



180 -189	189 -198	198 -207	207 -216	216 -225	225 -234	234 -243	243 -252	252 -261	261 -270
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.23E-144	4.58E-160	3.02E-176	3.52E-193	7.25E-211	2.64E-229	1.70E-248	1.94E-268	3.89E-289	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.95E-193	7.99E-214	3.32E-235	1.40E-257	5.94E-281	2.56E-305	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2.46E-71	3.31E-79	1.84E-87	4.21E-96	3.99E-105	1.56E-114	2.52E-124	1.69E-134	4.65E-145	5.30E-156
6.52E-115	3.03E-127	3.52E-140	1.02E-153	7.46E-168	1.36E-182	6.20E-198	7.08E-214	2.02E-230	1.44E-247
3.64E-41	6.30E-46	6.39E-51	3.79E-56	1.32E-61	2.69E-67	3.21E-73	2.24E-79	9.18E-86	2.20E-92
5.88E-26	3.82E-29	1.73E-32	5.50E-36	1.22E-39	1.89E-43	2.05E-47	1.55E-51	8.22E-56	3.04E-60
2.70E-11	6.23E-13	1.20E-14	1.91E-16	2.53E-18	2.79E-20	2.56E-22	1.95E-24	1.24E-26	6.53E-29
1.88E-17	9.83E-20	3.98E-22	1.24E-24	3.01E-27	5.64E-30	8.18E-33	9.17E-36	7.96E-39	5.35E-42
6.94E-07	4.70E-08	2.79E-09	1.45E-10	6.57E-12	2.62E-13	9.13E-15	2.79E-16	7.47E-18	1.75E-19
2.56E-04	3.41E-05	4.11E-06	4.48E-07	4.43E-08	3.95E-09	3.19E-10	2.34E-11	1.55E-12	9.26E-14
1.69E-01	4.97E-02	1.37E-02	3.57E-03	8.71E-04	2.00E-04	4.30E-05	8.72E-06	1.66E-06	2.97E-07
8.80E-03	1.85E-03	3.59E-04	6.44E-05	1.07E-05	1.64E-06	2.32E-07	3.05E-08	3.70E-09	4.15E-10
1.53E+00	5.98E-01	2.22E-01	7.83E-02	2.63E-02	8.42E-03	2.57E-03	7.46E-04	2.06E-04	5.44E-05
1.13E+01	5.34E+00	2.43E+00	1.07E+00	4.49E-01	1.82E-01	7.07E-02	2.64E-02	9.52E-03	3.29E-03
12.96584999	5.987906158	2.669141773	1.147811854	0.475980881	0.190271782	0.073298406	0.027204311	0.009725401	0.003348275

S	ni	Ni	ni/Ni
9,33	67346648,12	1777286807,58	0,0378930
18,67	4455821,68	222160850,95	0,0200567
28,00	1107424,14	65825437,32	0,0168237
37,33	395377,52	27770106,37	0,0142375
46,67	173384,26	14218294,46	0,0121944
56,00	84600,64	8228179,66	0,0102818
65,33	44632,07	5181594,19	0,0086136
74,67	24696,60	3471263,30	0,0071146
84,00	14067,14	2437979,16	0,0057700
93,33	8161,00	1777286,81	0,0045918
102,67	4776,90	1335301,88	0,0035774
112,00	2792,96	1028522,46	0,0027155
121,33	1615,83	808960,77	0,0019974
130,67	917,81	647699,27	0,0014170
140,00	508,86	526603,50	0,0009663
149,33	274,23	433907,91	0,0006320
158,67	143,22	361751,84	0,0003959
168,00	72,33	304747,39	0,0002374
177,33	35,27	259117,48	0,0001361
186,67	16,59	222160,85	0,0000747
196,00	7,52	191910,90	0,0000392
205,33	3,28	166912,74	0,0000196
214,67	1,38	146074,37	0,0000094
224,00	0,56	128565,31	0,0000043
233,33	0,22	113746,36	0,0000019
242,67	0,08	101120,10	0,0000008
252,00	0,03	90295,52	0,0000003
261,33	0,01	80962,41	0,0000001
270,67	0,00	72872,48	0,0000000
280,00	0,00	65825,44	0,0000000
<b>D =</b>			0,149802603
<b>Umur Kelelahan (Tahun) =</b>			133,5090284



180 -189	189 -198	198 -207	207 -216	216 -225	225 -234	234 -243	243 -252	252 -261	261 -270
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.23E-144	4.58E-160	3.02E-176	3.52E-193	7.25E-211	2.64E-229	1.70E-248	1.94E-268	3.89E-289	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.95E-193	7.99E-214	3.32E-235	1.40E-257	5.94E-281	2.56E-305	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2.46E-71	3.31E-79	1.84E-87	4.21E-96	3.99E-105	1.56E-114	2.52E-124	1.69E-134	4.65E-145	5.30E-156
6.52E-115	3.03E-127	3.52E-140	1.02E-153	7.46E-168	1.36E-182	6.20E-198	7.08E-214	2.02E-230	1.44E-247
3.64E-41	6.30E-46	6.39E-51	3.79E-56	1.32E-61	2.69E-67	3.21E-73	2.24E-79	9.18E-86	2.20E-92
5.88E-26	3.82E-29	1.73E-32	5.50E-36	1.22E-39	1.89E-43	2.05E-47	1.55E-51	8.22E-56	3.04E-60
2.70E-11	6.23E-13	1.20E-14	1.91E-16	2.53E-18	2.79E-20	2.56E-22	1.95E-24	1.24E-26	6.53E-29
1.88E-17	9.83E-20	3.98E-22	1.24E-24	3.01E-27	5.64E-30	8.18E-33	9.17E-36	7.96E-39	5.35E-42
6.94E-07	4.70E-08	2.79E-09	1.45E-10	6.57E-12	2.62E-13	9.13E-15	2.79E-16	7.47E-18	1.75E-19
2.56E-04	3.41E-05	4.11E-06	4.48E-07	4.43E-08	3.95E-09	3.19E-10	2.34E-11	1.55E-12	9.26E-14
1.69E-01	4.97E-02	1.37E-02	3.57E-03	8.71E-04	2.00E-04	4.30E-05	8.72E-06	1.66E-06	2.97E-07
8.80E-03	1.85E-03	3.59E-04	6.44E-05	1.07E-05	1.64E-06	2.32E-07	3.05E-08	3.70E-09	4.15E-10
1.53E+00	5.98E-01	2.22E-01	7.83E-02	2.63E-02	8.42E-03	2.57E-03	7.46E-04	2.06E-04	5.44E-05
1.13E+01	5.34E+00	2.43E+00	1.07E+00	4.49E-01	1.82E-01	7.07E-02	2.64E-02	9.52E-03	3.29E-03
12.96584999	5.987906158	2.669141773	1.147811854	0.475980881	0.190271782	0.073298406	0.027204311	0.009725401	0.003348275

2000-11-16 10:10:10  
 1000-11-16 10:10:10  
 1000-11-16 10:10:10



# **LAMPIRAN C**

**PARAMETER STRUKTUR DAN  
DATA LINGKUNGAN**



## PARAMETER STRUKTUR DAN DATA LINGKUNGAN

### 1. PARAMETER STRUKTUR

Parameter yang membatasi struktur guyed tower diberikan sebagai berikut:

Water depth	=	1500 ft (457m)
Tower height	=	1600 ft (480m)
Leg diameter (OD)	=	84 in (213,36cm)
Brace diameter (OD)	=	36 in (91,44cm)
Deck weight	=	15.000 Kips (67,2MN)

### 2. DATA LINGKUNGAN

Adapun parameter lingkungan yang digunakan sebagai lokasi operasi struktur ditampilkan dalam bentuk tabel probabilitas kejadian gelombang dalam satu tahun sebagai berikut:

Hs (meter)	Ts (detik)						
	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15
0,75	0,02717	0,04547	0,01711	-	-	-	-
1,5	0,07524	0,15611	0,11292	0,04688	-	-	-
2,5	-	0,08401	0,12028	0,06745	0,02923	-	-
3,5	-	-	0,05814	0,05099	0,02598	-	-
4,5	-	-	-	0,02566	0,01981	-	-
5,5	-	-	-	-	0,01407	0,00747	-
6,5	-	-	-	-	0,00509	0,00444	-
7,5	-	-	-	-	-	0,00249	0,00130
8,5	-	-	-	-	-	0,00097	0,00076
9,5	-	-	-	-	-	-	0,00097

# **LAMPIRAN D**

**LISTING PROGRAM  
ANALISIS KEANDALAN**



```

c$noext
c$nowarn
c    implicit double precision a-h,o-z
      real*4 no,m,miund,miuna,miunse,miunno,miunseta,nol

      betaw= -3.5
      iter= 0

      b= betaw
      ede=1.5

      d=1
      no=7.37e7
      se=280
      m=3
      a=1.445e11
      seta=0.976

      omed=0.5
      omeno=0.05
      omese=0.2
      omem=0.03
      omea=0.31
      omeseta=0.05

      goto 3
      write(*,*)'* MASUKKAN HARGA RATA-RATA : '
      write(*,105)'delta = '
      read(*,*)d
      write(*,105)'no = '
      read(*,*)no
      write(*,105)'Se = '
      read(*,*)se
      write(*,105)'m = '
      read(*,*)m
      write(*,105)'A = '
      read(*,*)a
      write(*,105)'Zeta = '
      read(*,*)seta
105   format(a9,\)

      write(*,*)'* MASUKKAN HARGA KOEFISIEN VARIASI : '
      write(*,105)'delta = '
      read(*,*)omed
      write(*,105)'no = '
      read(*,*)omeno
      write(*,105)'Se = '
      read(*,*)omese
      write(*,105)'m = '
      read(*,*)omem
      write(*,105)'A = '
      read(*,*)omea
      write(*,105)'Zeta = '
      read(*,*)omeseta

3      sigmam=m*omem

```

```

5      sd=sqrt(log(1+(omed)**2))
      sno=sqrt(log(1+(omeno)**2))
      sa=sqrt(log(1+(omea)**2))
      se=sqrt(log(1+(omesse)**2))
      sseta=sqrt(log(1+(omeseta)**2))

      alamdad=log(d)-(sd**2)/2
      alamdano=log(no)-(sno**2)/2
      alamdaa=log(a)-(sa**2)/2
      alamdase=log(se)-(se**2)/2
      alamdaseta=log(seta)-(sseta**2)/2

10     sigmand=d*sd
      sigmanno=no*sno
      sigmana=a*sa
      sigmanse=se*sse
      sigmanseta=seta*sseta

      miund=d*(1-log(d)+alamdad)
      miunno=no*(1-log(no)+alamdano)
      miuna=a*(1-log(a)+alamdaa)
      miunse=se*(1-log(se)+alamdase)
      miunseta=seta*(1-log(seta)+alamdaseta)

      gamma=205.22*(m/seta+1)**(-1.027)

      dgdd=sigmand
      dqdno=sigmanno*((m/seta)*(log(no))**(m/seta+1)-(log(no))
1 **(-m/seta))*((se**m)/a)*gamma)
      dqda=sigmana*((no*se**m/(a**2)*(log(no))**(m/seta))
1 *gamma)
      dqdm=sigmanse*(-log(log(no))/(seta*(log(no))**(m/seta)))
1 *gamma)
      dqdse=sigmanse*(-(m*no/a)*(se**(m-1))/(log(no))**(m/seta))
1 *gamma)
      dqdseta=sigmanseta*(m*(log(log(no))/(seta**2)*(log(no))**(m/seta))
1 *gamma)

      ak=sqrt(dgdd**2+dqdn**2+dqda**2+dqdm**2+dqdse**2+dqdseta**2)

      alfd=dgdd/ak
      alfa=dqda/ak
      alfse=dqdse/ak
      alfno=dqdn/ak
      alfm=dqdm/ak
      alfseta=dqdseta/ak

      d=miund-alfd*sigmand*b
      a=miuna-alfa*sigmana*b
      se=miunse-alfse*sigmanse*b
      no=miunno-alfno*sigmanno*b
      m=m-alfm*sigmam*b
      seta=miunseta-alfseta*sigmanseta*b

      gamma=205.22*(m/seta+1)**(-1.027)

```



```

ed={no/a}*{(se**m)/(log{no})**{m/setsa))*gamma
nol=d-ed
iter= iter + 1

```

```

if(nol.gt.0.0)then
b=b+0.1
goto 10
endif

```

```

if(iter.eq.1 .and. nol.lt.0.) then
  b= b + b*.1
  iter= 0
  goto 10
endif

```

```

b= b-0.1

```

```

write(*,110)ede,b
110  format(' d = ',f8.5,' beta = ',f10.5)

```

```

ede=ede-0.1

```

```

if(ede.ge..1)then
no=ede*no
b= betaw
iter= 0
goto 5
endif

```

```

stop
end

```



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5947254, 597274 psw. 144 Telex 34224 Fax 5947254

**FORMULIR EVALUASI KEMAJUAN TUGAS AKHIR**

Kami, dosen pembimbing Tugas Akhir dari mahasiswa :

Nama : AHMAD FAUZI  
NRP : 4392100035  
Judul TA : ANALISA KEANDALAN STRUKTUR  
GUYED TOWER TERHADAP  
BEBAN SIKLIS

Setelah mempertimbangkan butir-butir berikut :

- Keaktifan mahasiswa dalam mengadakan asistensi.
- Proporsi Materi TA yang telah diselesaikan sampai saat ini.
- Prospek penyelesaian TA dalam jangka waktu yang relevan.
- Masa Studi yang tersisa.

Dengan ini kami mengusulkan agar TA mahasiswa tersebut diputuskan untuk :

- ☐ Dibatalkan keseluruhannya dan mengajukan judul baru
- ☐ Diperkenankan menyelesaikan tanpa perubahan
- ☒ Diperkenankan mengikuti Ujian Tugas Akhir dengan Judul :  
ANALISA KEANDALAN STRUKTUR GUYED TOWER  
TERHADAP BEBAN SIKLIS.

Selanjutnya mahasiswa diatas diharuskan untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhirnya dan dapat mengikuti ujian Tugas Akhir untuk Wisuda ..... 19.....

Surabaya, 9-04 1998

Dosen Pembimbing ;

(Ir. E.B. DJATMIKO, Ph.D.)





DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5947254, 597274 psw. 144 Telex 34224 Fax 5947254

**FORMULIR PENGAJUAN TUGAS AKHIR**

Yang bertanda tangan dibawah ini , saya mahasiswa Jurusan Teknik Kelautan FTK - ITS ,

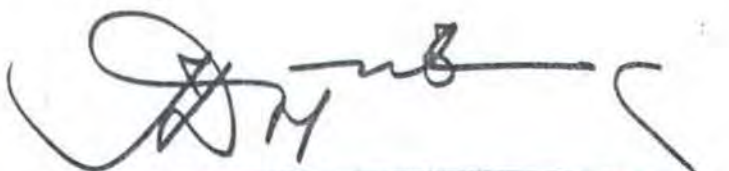
N a m a : AHMAD FAUZI  
Nrp. : 4392100035  
Jenis Kelamin : Laki-laki / Perempuan  
Alamat : JL. ASEMPAYUNG 15  
SURABAYA  
Judul Tugas Akhir : ANALISA KEANDALAN STRUKTUR  
GUYED TOWER TERHADAP BEBAN  
SIKLIS

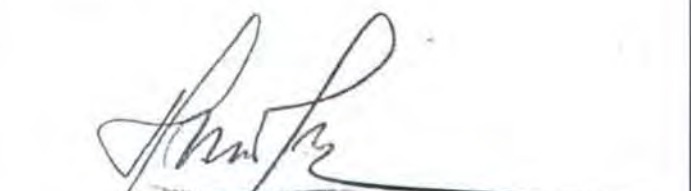
Dengan ini mengajukan untuk mengikuti Ujian Tugas Akhir Wisuda Periode bulan ..... APRIL ..... 1998 dan bersedia memenuhi segala persyaratan yang ditetapkan oleh Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS.

Demikian pengajuan ini saya sampaikan dan atas segala bantuannya saya ucapkan terima kasih.

Mengetahui  
Dosen Pembimbing ;








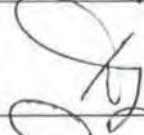



Surabaya , 9 MARET 1998  
Hormat Kami ;

  
Ir. EKO B. DJATMIKO, MSc, PhD  
NIP.

  
AHMAD FAUZI  
NRP. 4392100035

**LEMBAR PRESENTASI KONSULTASI TUGAS AKHIR**

NAMA MAHASISWA : AHMAD FAUZI  
NOMER POKOK : 4392.100.035  
NAMA DOSEN PEMBIMBING : Ir. EKO BUDI DJATMIKO, MSc, PhD.  
Ir. DANIEL M. ROSYID, Ph.D.  
TUGAS DIMULAI :  
TUGAS DISELESAIKAN :  
JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISA KEANDALAN STRUKTUR GUYED  
TOWER TERHADAP BEBAN SIKLIS

NO	TANGGAL	KONSULTASI MENGENAI	TANDA TANGAN DOSEN PEMBIMBING
1	3/2'97	Cari literatur G. Tower - Kelainan masalah fatigue	
2	17/3'97	Langitka pendak. - masalah fatigue	
3	14/4'97	Karakteristik vibrasi G. Tower ?	
4	19/5'97	Analisis Struktur? SAA ? → mode? vibrasi?	
5	9/6'97	Langitka malis	
6	26/8'97	Skripsi penulisan bab? awal	
7	7/10'97	Cek kondisi kritis stress & displ. → mode? vibrasi	
8	20/11'97	Cari data gel l. l. l. l. → distribusi	
9	20/12'97	Langitka penulisan	
10	9/1'98	Reliability theory? seleksi analisis reliability	
	28/1'98	reliability	
	12/2'98	Langitka penulisan TA	